А. И. Гольбиндер

Лабораторные работы по курсу ТЕОРИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

РОСВУЗИЗДАТ 1963

А. И. ГОЛЬБИНДЕР

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО КУРСУ
ТЕОРИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР
в качестве учебного пособия
для химико-технологических специальностей
высших учебных заведений

РОСВУЗИЗДАТ
1963

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга должна служить руководством при выполнении лабораторных работ по теории взрывчатых веществ, предусмотренных учебным планом соответствующих специальностей химико-технологических вузов.

Пособие примерно такого же назначения — «Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ» Д. С. Аванесова — было издано несколько лет тому назад. С тех пор, однако, появился курс «Теория взрывчатых веществ» К. К. Андреева и А. Ф. Беляева, что потребовало изменения содержания практикума и характера его изложения. Вместе с тем в последнее время в учебных и исследовательских лабораториях нашли широкое применение некоторые новые методы исследования, которые не освещены ни в практикуме Аванесова, ни в других учебных пособиях. В связи с этим возникла потребность в новом руководстве, и предлагаемая книга призвана удовлетворить ее.

Многие из описанных в руководстве методик разработаны и впервые введены в учебную практику на кафедре проф. К. К. Андреева. В описании отдельных работ принимали участие сотрудники кафедры: Г. Н. Беспалов (работа 5), В. В. Горбунов (работы 7 и 12), Б. Н. Кондриков (работа 17), Ю. Я. Максимов (работа 1) и Б. С. Светлов (работы 1, 6, 19 и 20).

Автор выражает искреннюю признательность К. К. Андрееву, Л. И. Багалу, М. К. Бандурину, Л. В. Дубнову, В. С. Козлову, И. Е. Мойсаку, С. А. Никитиной и Е. И. Шапошниковой, прочитавшим рукопись, и редактору книги Б. Н. Кондрикову за ценные замечания и рекомендации.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы являются одним из важнейших этапов изучения курса теории взрывчатых веществ (ВВ). Выполняя эти работы, студент непосредственно знакомится со свойствами различных ВВ и закономерностями их превращений, которые изучает теория. Вместе с тем выполнение практикума позволяет освоить важнейшие экспериментальные методы исследования и испытания ВВ и изучения явлений взрывчатого превращения.

Лабораторные работы следует выполнять после изучения соответствующих теоретических разделов курса. Наличие учебника (К. К. Андреев и А. Ф. Беляев. «Теория взрывчатых веществ». М., Оборонгиз, 1960) позволяет отказаться от изложения, хотя бы и краткого, теоретических вопросов в руководстве для лабораторных работ. Описание работ сопровождается поэтому лишь кратким освещением принципов действия приборов или принципиальных основ предлагаемых методик исследования. Предполагается, что перед выполнением каждой работы студент должен изучить необходимый теоретический материал по учебнику. В описаниях работ ссылки на учебник даны сокращенно, например: *Уч.* III, *1*, 106—113, означает: «Теория взрывчатых веществ», глава III, § 1, стр. 106—113.

Приведенные в руководстве описания работ охватывают все основные разделы курса теории ВВ. По большей части разделов предусмотрено несколько работ, а в некоторых работах — несколько вариантов методики исследования. В зависимости от имеющегося в лаборатории оборудования и количества часов, отведенных по программе, преподаватель устанавливает перечень работ, обязательных для каждого студента.

При выборе работ для данного практикума учитывались следующие соображения:

1. Значение того или иного метода исследования в практике современных научных лабораторий и испытательной технике.

2. Педагогическая ценность работы. Предпочтение было отдано тем работам, которые позволяют воспитать у студентов необходимые навыки, помогают усвоить наиболее важные разделы курса и дают наглядные представления о свойствах ВВ. Именно последнее соображение побудило, наряду с новыми методами и приборами, включить в практикум некоторые давно известные и простые работы. Так, испытание

на копре К-44-III позволяет характеризовать чувствительность ВВ к трению гораздо точнее, чем растирание в ступке. Однако именно эта простая проба дает более яркое и запоминающееся представление о различии в чувствительности к трению между инициирующими и вторичными ВВ.

Описание каждой работы составлено с таким расчетом, чтобы студент, знающий соответствующий раздел курса и изучивший методику по данному практикуму, мог бы выполнить работу совершенно самостоятельно. Это, конечно, не означает, что мы считаем возможным выполнение работ со взрывчатыми веществами без руководства и тщательного контроля опытных руководителей.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ

При выполнении лабораторных работ приходится в различных условиях вызывать горение, вспышку или взрыв определенных количеств ВВ. Для того чтобы эти явления, изучение которых составляет предмет теории ВВ, не привели к несчастному случаю, необходимо при каждом опыте соблюдать определенные меры предосторожности и применять защитные приспособления, исключающие возможность поражения пламенем, ударной волной либо осколками как самого экспериментатора, так и окружающих.

В лаборатории нужно также производить с взрывчатыми веществами много операций, при которых взрыв или вспышка не являются целью выполняемой работы, но могут возникнуть из-за неосторожности либо ошибки экспериментатора, незнания им свойств исследуемых веществ или нарушения установленных правил обращения с ВВ и приборами. Опасность несчастного случая при таких взрывах особенно велика.

Опыт работы многих научно-исследовательских и учебных лабораторий показывает вместе с тем, что можно совершенно избежать несчастных случаев и аварий. Нужно для этого хорошо знать возможные пути возникновения горения и взрыва и принимать все необходимые меры для защиты от их действия, если есть хотя бы малейшая вероятность того, что такие явления могут произойти. Сколько несчастий произошло, например, из-за того, что экспериментатор, забыв об опасности вспышки или взрыва, сдвигал на лоб защитные очки. Нужно работать в лаборатории с большой тщательностью, аккуратностью и вниманием, точно соблюдать правила техники безопасности и порядок работы, приведенный в данном руководстве. Любое отклонение от порядка выполнения работы, изложенного в руководстве, допустимо только по письменному разрешению преподавателя. Особенно следует помнить о том, что не только размер зоны возможного поражения, но и сам характер возникающего явления (спокойное горение или детонация) зачастую зависят от количества взятого ВВ. Совершенно недопустимо поэтому увеличение навески ВВ, указанной для данного опыта в руководстве или записанной преподавателем.

В каждой лаборатории, где ведутся работы с ВВ, должны быть разработаны и утверждены общая и специальные инструкции по технике безопасности. Значительная и наиболее важная часть требований этих инструкций определяется местными условиями (объем и характер работ, размеры, устройство и расположение помещений, наличие защитных устройств и их конструкция и т. п.).

Можно рекомендовать для учебных лабораторий разработку следующих инструкций по технике безопасности:

1. Общая инструкция по работе в лаборатории теории ВВ. Здесь должны быть изложены основные общие правила обращения с ВВ, порядок хранения, выдачи и учета ВВ и средств взрывания, предельные нормы наличия ВВ на рабочих местах и в отдельных помещениях, место и порядок выполнения подготовительных операций (сушка, просеивание, подготовка зарядов и т. п.), основные меры защиты, контроль за соблюдением правил техники безопасности, ответственность и меры взыскания при нарушении правил.

2. Инструкция по проведению взрывов в бронекамере (бронеяме, взрывной емкости, установленной в помещении или на площадке для подрывов, в зависимости от того, где производят соответствующие работы в данной лаборатории). В данной инструкции должны быть детально регламентированы все условия проведения взрывов, максимальные веса зарядов, разрешенные способы взрывания, меры защиты и блокировки, мероприятия на случай отказов и т. п. Во всех случаях, когда это возможно по характеру выполняемой работы, следует применять электрический способ взрывания с помощью взрывной машинки.

3. Инструкция по работе с манометрическими бомбами и бомбами постоянного давления.

4. Инструкция по технике безопасности при механической обработке ВВ и порохов. Здесь должны быть регламентированы такие операции, как токарная обработка и резка порохов, измельчение порохов и ВВ, прессование и другие методы снаряжения, применяемые в данной лаборатории.

Подробный инструктаж и проверка знаний соответствующих инструкций должны предшествовать выполнению каких бы то ни было работ в лаборатории.

При составлении описаний работ, помещенных в настоящем руководстве, требования общей и специальных инструкций предполагались известными и в тексте не повторялись. В специальном разделе описания каждой работы приведены только те специфичные для нее меры предосторожности, которые не могут быть предусмотрены обычными инструкциями.

ВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЖУРНАЛА

Ход и результаты каждой работы должны быть подробно записаны в лабораторном журнале (тетради) исполнителя. Правильное ведение лабораторного журнала — непременное условие успеха любого экспериментального исследования; этой стороне работы необходимо поэтому уделить самое серьезное внимание.

Каждый исполнитель ведет отдельный журнал в форме личного рабочего дневника, начиная ежедневно запись с указания даты выполнения работы. Страницы лабораторного журнала должны быть пронумерованы. Как правило, во время работы записи ведут на одной стороне листа, оставляя в журнале достаточно места для последующих расчетов и других необходимых дополнений.

Крайне важно приучить себя систематически и достаточно подробно записывать в журнал непосредственно на рабочем месте и в процессе выполнения работы все исходные данные (веса, размеры, объемы, условия опытов, режимы работы приборов и т. д.), наблюдения, сделанные в ходе эксперимента, и его результаты. Во избежание досадных ошибок, способных подчас обесценить результаты большой работы, нельзя полагаться на память. Совершенно недопустимо также предварительно записывать что-либо относящееся к экспериментальной работе на отдельных листках, с тем чтобы потом переписать в журнал. Лабораторный журнал — единственный первичный документ экспериментальной работы. Как правило, даже документы, записываемые приборами (фотографии, осциллограммы, кривые самописцев и др.), совершенно обесцениваются, если условия их получения недостаточно полно фиксированы в журнале. Не беда, если в журнале, заполняемом прямо на рабочем месте, появятся кое-где пятна, но не должно быть никаких поправок или подчисток. Если обнаружена ошибка, нужно зачеркнуть написанное, но так, чтобы его по-прежнему можно было прочесть, и рядом написать правильные данные с указанием, когда это возможно, источника или причины ошибки и того, на каком основании внесено исправление.

Когда по экспериментальным данным ведут какой-либо расчет, то нужно записывать в журнал все промежуточные выкладки, а главное — все исходные для расчета результаты измерений или наблюдений. Если последние записаны, то ошибку, вкравшуюся в вычисления, всегда можно найти и исправить. Никогда не исправляйте задним числом записи непосредственных результатов измерения (опыта). Если в правильности их возникло сомнение, нужно повторить опыт заново.

Часто экспериментатор записывает в журнал лишь те данные, которые нужны для получения результата, представляющегося в данный момент единственной целью постановки опыта. Позднее он горько пожалеет, что не описал подробно наблюдения, сделанные попутно, или некоторые данные об условиях опытов, которые в первый момент казались несущественными. Так, например, в серии опытов по изучению вспышки ВВ были записаны только сведения о температуре и задержке вспышки. Позднее почти всю серию пришлось повторить, так как полученные результаты нельзя было объяснить, не учитывая характер вспышки, наблюдения за которым во время каждого опыта не были записаны. Другой пример: при исследовании влияния диаметра заряда на некоторые характеристики взрывного превращения, записывали только внутренний диаметр трубок, служивших оболочкой. Много позднее было установлено, что на результаты опытов существенно влияет толщина оболочки. Серию опытов пришлось повторять только потому, что не были записаны наружные диаметры. А сколько бывает таких случаев, когда повторить опыт нельзя? В этих случаях все данные и наблюдения, которые не были своевременно и полно записаны, пропадают бесследно и безвозвратно и труд экспериментатора, а иногда и большого коллектива оказывается затраченным впустую.

Во время работы нужно записать все сведения об условиях и результатах опытов, в том числе и такие, которые в данный момент кажутся очевидными или несущественными. Так же подробно нужно описывать все наблюдения, даже те, которые приходится выражать не числом или мерой, а лишь субъективным впечатлением (характер звука, окраска пламени, изменение цвета вещества или газов над ним и т. п.).

К лабораторному журналу нередко приходится, особенно при исследовательской работе, возвращаться спустя много времени после выполнения опытов. Чтобы избежать серьезных ошибок при такой позднейшей обработке, следует при заполнении журнала четко разграничивать достоверные фактические данные опытов (с указанием всегда, когда возможно, степени их точности или возможной ошибки) от результатов их первичной обработки, наблюдений, предположений или соображений автора.

Глава I

МЕДЛЕННОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, ХИМИЧЕСКАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

(*Уч.* II, *1,* 38—40; *4,* 80—105; III, *1—2,* 106—129)

Работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ВВ В ПРИБОРЕ СО СТЕКЛЯННЫМ МАНОМЕТРОМ ТИПА БУРДОНА

Сущность метода

Термическое разложение ВВ сопровождается образованием газообразных продуктов. Это дает возможность, проводя разложение ВВ в сосуде постоянного объема, по давлению образующихся газов судить о ходе процесса. Именно это обстоятельство использовано во всех манометрических пробах, позволяющих по скорости роста давления в определенных условиях изучать важные закономерности кинетики термического распада ВВ и судить о его стойкости.

Большинство приборов для манометрических проб представляют собой сосуд с навеской ВВ, погружаемый в термостат и соединенный с ртутным или другим жидкостным манометром. Такое устройство является источником существенных недостатков этих проб, связанных с возможностью перегонки ВВ, а также некоторых продуктов распада в холодные части прибора, возможным взаимодействием паров и продуктов распада ВВ с манометрической жидкостью, смазкой кранов и др. Эти недостатки можно устранить, применив для манометрических исследований описываемый ниже сосуд со стеклянным манометром типа Бурдона, все части которого во время опыта находятся при одной и той же температуре, а контакт ВВ и продуктов распада с какими-либо другими веществами, кроме стекла, а также контакт с воздухом могут быть полностью исключены.

При сравнительной простоте выполнения все манометрические методы позволяют получить лишь весьма ограниченные сведения о механизме термического разложения ВВ. Механизм медленного химического превращения абсолют-

ного большинства ВВ крайне сложен и включает целый ряд последовательно и параллельно протекающих элементарных реакций. Манометрические методы позволяют наблюдать лишь их интегральный эффект, по которому лишь в простейших случаях и то косвенно можно судить об отдельных стадиях распада и их роли в общем ходе процесса.

Условия проведения опыта (температура, степень заполнения реакционного сосуда взрывчатым веществом, наличие примесей и др.) определяются задачами проводимого исследования и при выполнении студенческого практикума задаются преподавателем.

Основными стадиями выполнения работы являются:

1. Подготовка опыта — введение навески в реакционный сосуд, измерение его объема, эвакуация сосуда и, если нужно, введение добавок.

2. Проведение опыта по термическому разложению — нагревание сосуда с веществом в термостате и периодическое измерение давления продуктов распада.

Устройство вакуумной установки и подготовка опытов

а) Высоковакуумная установка и мембранный приборчик

Для того чтобы предотвратить взаимодействие ВВ или продуктов его распада с воздухом, а также влагой и другими летучими примесями, навеску, помещенную в реакционный сосуд, при подготовке опыта

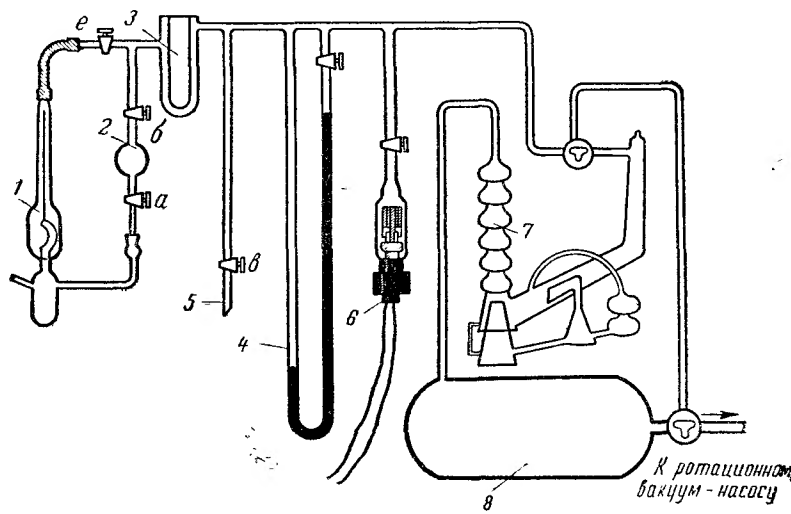

Рис. 1. Схема высоковакуумной установки:

1 — реакционный сосуд с манометром типа Бурдона; *2* — шарик для измерения объема реакционного сосуда; *3* — ловушка с жидким азотом для предотвращения попадания паров ртути и масла в реакционный сосуд; *4* — манометр; *5* — ввод для дозировки паров и газов в реакционный сосуд; *6* — термопарная манометрическая лампа; *7* — диффузионный масляный насос; *8* — буферный баллон; *а*, *б*, *в*, *е* — краны

эвакуируют до остаточного давления 10^{-3} — 10^{-6} *мм рт. ст.* и выдерживают некоторое время в высоком вакууме. Эту часть работы выполняют на высоковакуумной установке, схема которой приведена на рис. 1. Вакуум в ней создают с помощью форвакуумного ротационного насоса (до 10^{-2} *мм*) и соединенного с ним последовательно диффузионного паромасляного насоса (до 10^{-6} *мм*).

Измеряют вакуум либо с помощью манометра Мак-Леода, либо, что рациональнее, с помощью термопарной манометрической лампы (10^{-1} — 10^{-3} *мм*) или ионизационного манометра (10^{-3} — 10^{-7} *мм*). В основу действия первой положен тот факт, что при низких давлениях теплопроводность газа пропорциональна его давлению. Работа ионизационного манометра основана на том, что при еще меньших давлениях ионный ток, возникающий в газе под воздействием потока электронов, также пропорционален давлению[1].

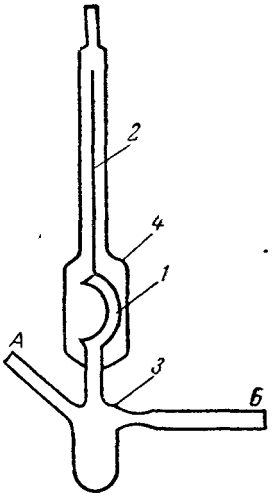

Рис. 2. Реакционный сосуд с мембранным манометром типа Бурдона:
1 — мембрана; *2* — стрелка; *3* — реакционный сосуд с двумя отводами. *А* — для введения навески ВВ; *Б* — для соединения с вакуумной установкой; *4* — компенсационный сосуд

При многих исследованиях применение высокого вакуума не обязательно и опыт можно подготовить, откачивая сосуд только форвакуумным ротационным насосом (10^{-1} — 10^{-2} *мм рт. ст.*), что существенно упрощает работу.

Стеклянный манометр (рис. 2) имеет тонкостенную серповидную стеклянную мембрану с припаянной к ней стрелкой. При эвакуации реакционного сосуда внешнее пространство мембраны с помощью вакуумной резиновой трубки также соединяют с высоковакуумной установкой, чтобы давление по обе стороны мембраны было одинаковым.

Когда в ходе опыта давление в реакционном сосуде повышается, серповидная мембрана несколько распрямляется и стрелка отклоняется от нулевого положения. Впуская в объем *4* воздух, возвращают стрелку в нулевое положение. При этом давление в сосуде и в объеме *4* становится одинаковым; последнее измеряют ртутным манометром. Следует помнить, что стеклянная мембрана может выдерживать лишь небольшой перепад давлений между полостями *3* и *4* (как правило не более 100 *мм рт. ст.*).

б) Методика работы

Тщательно вымытый дистиллированной водой и высушенный стеклянный манометр боковым отводом *Б* (рис. 2) припаивают к высоко-

[1] Более детально о методах получения и измерения вакуума см., например, в книге Д. Ярвуда «Техника высокого вакуума» (М., Госэнергоиздат., 1960).

вакуумной установке. При открытых кранах *а*, *б* и *е* (рис. 1) на трубку *4* (рис. 2) по обе стороны стрелки наклеивают бумажки с нанесенными тушью черточками так, чтобы стрелка и черточки на обеих бумажках составляли одну линию, т. е. лежали в одной плоскости.

Затем через боковой отвод *А* (рис. 2) в реакционный сосуд вносят навеску исследуемого вещества. Порошкообразные вещества в бюксе или на кусочке кальки взвешивают на аналитических весах вместе с маленькой воронкой. Через эту воронку порошок всыпают в сосуд так, чтобы частицы ВВ не попали на стенки отвода, подлежащего в дальнейшем перепаиванию. Повторным взвешиванием бюкса (кальки) с воронкой находят по разности взятую навеску. Для введения в сосуд жидких ВВ пользуются пипеткой (рис. 3), которую также взвешивают и переносят вместе с воронкой. При введении в отвод и удалении из него воронки с пипеткой кончик последней должен быть внутри воронки, а во время прикапывания жидкости — высовываться из нее. Аккуратное соблюдение этого порядка позволяет не допустить попадания капель ВВ на стенки отвода.

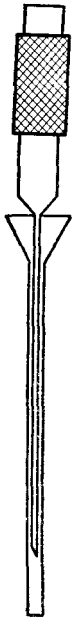

Рис. 3. Воронка с пипеткой для введения в сосуд навески жидкого ВВ

При разложении некоторых взрывчатых веществ значительное ускоряющее влияние оказывают газообразные продукты распада. В тех случаях, когда желательно изучить это влияние, нужно вести опыт при максимальной концентрации продуктов распада, которая при прочих равных условиях будет тем выше, чем больше степень заполнения сосуда веществом[1]. При опытах с высокой степенью заполнения, кроме того, легче улавливать образование малых количеств газа, что позволяет изучать разложение ВВ при сравнительно низкой температуре.

Чтобы провести опыт при высокой степени заполнения сосуда, нужно расположить отводы для введения навески и откачки таким образом, чтобы можно было насыпать или наливать ВВ в полость мембраны. Этого достигают, располагая сосуд при введении навески горизонтально или стрелкой вниз, как показано на рис. 4. После запаивания отвода *1*, эвакуации системы, выдерживания навески в высоком вакууме и отпаивания отвода *2* сосуд, подготовленный к опыту, имеет вид, показанный на рис. 5.

в) Измерение объема реакционного сосуда

Объем приборчика со стеклянным манометром может быть различным. Для опыта выбирают приборчик с примерно подходящим объемом, который легко рассчитать, зная предельное количество ВВ, допустимое по соображениям безопасности, и желаемую степень заполнения δ (или m/v).

Для того чтобы по давлению определить количество газов, выделившихся при распаде ВВ, необходимо с достаточной точностью знать объем, в котором эти газы находятся. Объем сосуда определяют, за-

[1] Степень заполнения реакционного сосуда δ определяют как отношение объема ВВ к объему сосуда (включая полость мембраны). В некоторых случаях пользуются также отношением m/v, где m — навеска ВВ, а v — объем сосуда.

полняя его (включая полость мембраны) водой и взвешивая до и после заполнения.

Можно определить объем реакционного сосуда и после того, как он припаян к вакуумной установке. Для этой цели откачивают воздух из сосуда и установки до некоторого малого (20—100 *мм*) остаточного давления p_1, а затем осторожно соединяют сосуд с шариком известного объема $v_ш$[1], заполненным воздухом под известным давлением p_0 (обычно атмосферное давление). Впуск воздуха в сосуд производят малыми порциями, чередуя его с впуском воздуха во внешнюю полость манометра[2]. Измерив получившееся после этого давление p_2, на основании закона Бойля—Мариотта можно рассчитать объем сосуда v_x по формуле

$$v_x = \frac{v_ш (p_0 - p_2)}{p_2 - p_1}.$$

Эту операцию производят 3 раза и берут среднее арифметическое значение v_x из трех определений. Объем v_x состоит из объемов реакционного сосуда, соединительной трубочки до шлифа и из известного объема трубки от шлифа до нижнего крана шарика. Объем соединительной трубочки определяют по окончании подготовки опыта взвешиванием ее без воды и с водой, после чего легко определить объем реакционного сосуда.

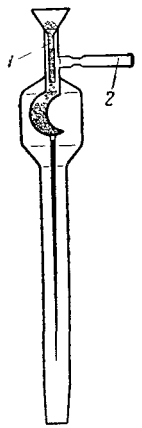

Рис. 4. Схема заполнения сосуда ВВ для опыта с большой степенью заполнения:
1 — отвод для введения навески; *2* — отвод для припаивания к вакуумной установке

Рис. 5. Прибор с большой степенью заполнения сосуда ВВ, подготовленный к опыту

г) Эвакуация системы

После того как измерен суммарный объем реакционного сосуда и соединительных трубок, приступают к эвакуации системы. Убедившись, что краны *а*, *б* и *е* (рис. 1) открыты, включают линию, соединяющую установку с форвакуумным насосом. Через 10—15 *мин* при условии, что в *U*-образном ртутном манометре ртуть в обоих коленах находится на одном уровне, закрывают кран *е* и включают тумблер «сеть» на панели измерителя вакуума[3]. Поставив затем тумблер «ток накала — измерение» в положение «ток накала», дают лампе прогреться в течение 5—10 *мин*, устанавливают ток накала, указанный в паспорте лампы, и затем переключают тумблер в поло-

[1] Объем шарика определяют один раз, при монтаже установки, например, путем заполнения его водой или ртутью и взвешивания. Можно определить объем шарика по тому же способу, что и объем реакционного сосуда (см. ниже), присоединив к установке какой-либо другой сосуд, емкость которого точно измерена.

[2] Напомним еще раз, что стеклянный манометр разрушается, как правило, при разности давлений снаружи и внутри его ~100 *мм*.

[3] Здесь в общих чертах описана работа с термопарной манометрической лампой; о применении других измерителей вакуума см. в специальных руководствах (например, в цитированной на стр. 11 книге Ярвуда). Порядок измерения вакуума при помощи термопарной лампы более детально описан в заводской инструкции к прибору.

жение «измерение». Если давление в системе не превышает $2 \cdot 10^{-2}$ *мм*, включают нагреватель диффузионного насоса и ставят краны в такое положение, чтобы эвакуируемый сосуд сообщался с форвакуумным насосом через диффузионный насос. Через полчаса после начала работы диффузионного насоса (начало каплепадения) вновь измеряют вакуум в системе, и в случае, если давление ниже 10^{-2} *мм*, оставляют установку в рабочем состоянии еще на 1—2 часа. По истечении этого времени вновь измеряют вакуум в системе.

Конечное давление и продолжительность выдерживания при этом давлении определяются свойствами изучаемого вещества, наличием примесей и задачами исследования. Как правило, давление в системе перед опытом должно быть не выше $1 \cdot 10^{-3}$ *мм*.

По окончании откачивания мембранный приборчик отпаивают от установки, а резиновую трубку, соединяющую верхнее пространство мембраны с установкой, туго сдавливают зажимом. Затем закрывают краны, соединяющие диффузионный насос с установкой и выключают нагреватель. Только после этого можно перекрыть кран к форвакуумному насосу, выключить его и соединить установку с атмосферой.

Во многих случаях представляет интерес исследование термического распада ВВ в присутствии определенных примесей. Нелетучие вещества смешивают в необходимом количестве с ВВ перед взятием навески. Летучие или газообразные примеси вводят в реакционный сосуд следующим образом: закрывают кран *а* (рис. 1) и через отвод *5* (рис. 1), манипулируя краном *в*, вводят соответствующий газ или пар в установку и закрывают кран *б*. Зная давление в системе (его измеряют по *U*-образному манометру) и объем шарика *2*, легко определить количество добавки. Затем открывают кран *а* и охлаждают реакционный сосуд, погружая его в жидкий азот. Введенный в систему газ (пар) конденсируется в реакционном сосуде, после чего сосуд быстро отпаивают.

Проведение опыта

Опыты по термическому разложению проводят в термостате, представляющем собой баню, наполненную жидкостью с малой летучестью и снабженную электрообогревом, мешалкой и термостатирующим устройством.

В зависимости от температуры опыта в качестве термостатной жидкости могут быть использованы: вода (до 100°), глицерин (до 140°), дибутилфталат (до 160°), машинное масло (до 200°), сплав 60% KNO_3 и 40% $NaNO_2$ (до 300°), сплав Вуда (от 80°), олово (от 230°), сплав олова со свинцом 50 : 50 (от 180°). В случае применения металлов, ввиду хорошей их теплопроводности, необходимости в мешалке нет.

Терморегулирующее устройство состоит из контактного ртутного термометра и реле, соединенного с электрическим нагревателем. При подъеме температуры до заданного предела замыкается цепь реле, которое при этом размыкает цепь нагревателя термостата. При пони-

жении температуры ниже установленного предела происходит включение нагревателя в цепь. Температура в термостате, оборудованном таким терморегулятором, поддерживается постоянной с точностью $\pm 0{,}1° - 0{,}5°$. В тех случаях, когда применять ртутные контактные термометры по какой-либо причине затруднительно (например, при температуре выше температуры кипения ртути — 360°), могут быть использованы терморегулирующие системы, имеющие в качестве датчика термопару или термометр сопротивления, а в качестве реле — электронные автоматические регулирующие потенциометры или уравновешенные мосты.

Для проведения опыта мембранный прибор через тройник соединяют с U-образным переносным манометром и ручным вакуум-насосом и эвакуируют систему до остаточного давления 2—5 *мм*. После этого снимают зажим с трубки на приборе и осторожно погружают прибор в термостат. В момент погружения нижней части реакционного сосуда в термостатную жидкость пускают в ход секундомер (или отмечают время по часам) и начинают постоянное наблюдение за положением стрелки стеклянного манометра. Как только стрелка отклонилась от нулевого положения, плавно открывая кран на манометре, ее возвращают обратно. В тот момент, когда стрелка находится в нулевом положении (давления внутри мембраны и внутри системы равны), в рабочем журнале записывают время и давление по манометру.

Промежутки времени между отдельными измерениями давления выбирают в зависимости от скорости разложения ВВ в данном опыте, так чтобы соседние точки отстояли друг от друга не более чем на 5 *мм* ртутного столба. В зависимости от характера разложения исследуемого ВВ в данных условиях и поставленной задачи опыт ведут от нескольких часов до многих дней.

По окончании опыта прибор вынимают из термостата и давление в компенсационном сосуде с помощью ручного вакуум-насоса постепенно понижают (вследствие охлаждения газов до комнатной температуры давление в реакционном сосуде падает).

Сосуд погружают в стакан с холодной водой (15—18°) и через 10—15 *мин* точно измеряют температуру воды и давление в приборе. Зная давление в горячем и холодном приборе, легко рассчитать количество конденсирующихся при комнатной температуре газов в продуктах разложения. Эти данные также могут быть полезны для суждения о механизме распада ВВ.

Обработка результатов опыта

Запись в журнале рекомендуется вести по форме, приведенной на стр. 16.

Объем образовавшихся газов относят к 1 *г* исследуемого вещества и приводят к нормальным условиям, считая, что продукты распада ВВ подчиняются законам идеальных газов по формуле

$$v_0 = \frac{p \cdot 273\, v}{760\, T\, m},$$

где T — температура опыта в °K;
p — давление в сосуде в данный момент в *мм рт. ст.*;
v — объем реакционного сосуда в *см*^{3};
m — навеска ВВ в *г*.

Дата———, № опыта———, исследуемое вещество———

———Температура опыта———

Время по часам	Время от начала опыта τ, *мин*	Уровни ртути в коленах манометра		Давление p, *мм рт. ст.* (H_2-H_1)	Количество газов v_0, *нсм*^{3}/*г*	Скорость газообразования $\Delta v_0/\Delta\tau$, *нсм*^{3}/*г мин.*
		H_1 *мм рт. ст.*	H_2 *мм рт. ст.*			

Полученные результаты наносят на график, на котором по оси абсцисс откладывают время τ в минутах, а по оси ординат — количество газов, образовавшихся из одного грамма вещества к данному моменту (интегральная кривая).

Характер изменения скорости разложения со временем определяют дифференцированием полученной интегральной кривой и построением графика

$$w = \frac{d v_0}{d \tau} = w(\tau).$$

Для определения производной $\frac{dv}{d\tau}$ в любой точке интегральной кривой удобно пользоваться способом графического дифференцирования с помощью зеркала или специального угольника с зеркальными полками (тангентиметра). Зеркало, плоскость которого перпендикулярна к плоскости чертежа, поворачивают таким образом, чтобы зеркальное изображение ближайшего к данной точке участка кривой казалось его продолжением. Плоскость зеркала в этом случае перпендикулярна к дифференцируемой кривой в данной точке. Проведенная по зеркалу нормаль позволяет найти значение производной в данной точке кривой. Число точек, в которых производят дифференцирование, должно быть таким, чтобы по ним можно было построить плавную кривую.

Меры предосторожности

1. При запайке и отпайке реакционный сосуд во избежание разогрева ВВ следует закрывать влажным листовым асбестом.
2. Запаивание и отпаивание реакционного сосуда проводить в защитных очках, а при навесках ВВ, превышающих 0,3 *г*,— кроме того, за щитом из оргстекла.

3. Запрещается применять для опыта навески ВВ больше 0,3 *г* без письменного разрешения преподавателя.

4. Если давление начинает подниматься со скоростью более 20 *мм рт. ст.* в минуту, следует немедленно одеть защитные очки и прекратить опыт, вынув прибор из термостата и быстро охладив его. Прибор следует брать при этом щипцами либо рукавицей.

5. При заливании ловушки жидким азотом лицо и глаза экспериментатора должны быть защищены очками или маской из оргстекла. Лицо должно быть значительно выше уровня ловушки во избежание попадания на него брызг жидкого азота и осколков сосуда Дьюара, если произойдет его разрыв.

6. Нельзя резко открывать вакуумные краны.

7. Перед остановкой ротационного насоса предварительно открыть кран, соединяющий насос с воздухом, во избежание засасывания масла из насоса в вакуумную линию.

Работа 2

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ НИТРОЭФИРОВ ПО ЙОДОКРАХМАЛЬНОЙ ПРОБЕ (ПРОБА АБЕЛЯ)

Сущность метода

Одной из старейших проб для определения химической стойкости ВВ, образующих при разложении окислы азота, в частности нитроглицерина и смесей, его содержащих, является испытание с йодокрахмальной бумажкой, известное как проба Абеля.

Испытание заключается в том, что ВВ нагревают при определенной температуре в пробирке, поместив над ним отрезок специальной индикаторной бумаги, пропитанной растворами йодистого калия и крахмала. Двуокись азота, образующаяся при разложении на воздухе азотнокислых эфиров, взаимодействует с йодистым калием с выделением элементарного йода, который дает окрашенное соединение с крахмалом. При малой концентрации свободного йода, соответствующей малому количеству двуокиси азота, на индикаторной бумажке появляется бурая полоска. Мерой стойкости служит время от начала нагревания при установленной постоянной температуре до появления на бумажке полоски с определенной интенсивностью окрашивания.

Индикаторная бумажка очень чувствительна и позволяет обнаружить малые количества окислов азота, что дает возможность фиксировать начальную стадию распада при умеренных температурах.

С точки зрения правильной оценки стойкости исследуемого ВВ йодокрахмальная проба обладает серьезными недостатками. Прежде всего отметим, что в данной пробе, так же как в большинстве других применяемых на практике проб, определяется по существу лишь одна точка на начальном участке кривой «степень разложения — время».

Если речь идет о новом, неизученном веществе, то по положению этой точки нельзя предсказать дальнейший ход распада (*Уч.* III, *1*, 110—111). Далее, результат пробы является лишь качественным или полуколичественным, ввиду

Челябинская обл. ...ичная библиотека

субъективности оценки изменения цвета бумажки. Наконец, результаты испытания могут сильно меняться под влиянием многих факторов (незначительные примеси в исследуемом веществе, применяемых реактивах или в атмосфере комнаты, влажность, летучесть исследуемого ВВ, качество индикаторной бумаги, освещенность комнаты и др.).

Несмотря на эти серьезные недостатки, проба Абеля находит широкое практическое применение, в первую очередь для производственного контроля нитроглицерина и смесей на его основе, а также других эфиров азотной кислоты, ввиду простоты и быстроты ее выполнения. В частности, испытание йодокрахмальной пробой позволяет легко обнаружить по понижению стойкости недостаточную отмывку нитроэфира от следов кислот.

Для уменьшения неопределенности результатов пробы условия ее строго регламентированы (ГОСТ 5772—51); индикаторная бумажка и эталоны окрашивания для всех лабораторий Союза изготавливаются в одном институте. Достоверные результаты испытания получаются лишь при весьма тщательном и аккуратном выполнении всех операций.

Выполнение пробы

а) Испытание нитроглицерина

Около 5 *мл* нитроглицерина фильтруют для удаления воды через чистый сухой бумажный фильтр. С помощью пипетки наливают по 2 *мл* профильтрованного нитроглицерина в две чистые и сухие стеклянные пробирки (длина 130—140 *мм*, внутренний диаметр 16—18 *мм*), следя за тем, чтобы капли жидкости не попадали на стенки. Пробирку с нитроглицерином плотно закрывают резиновой или пришлифованной стеклянной пробкой со стеклянным крючком. На крючок предварительно подвешивают полоску йодокрахмальной бумажки (20×10 *мм*). Нижний край бумажки должен быть слегка смочен при помощи стеклянной палочки раствором равных объемов дистиллированной воды и химически чистого глицерина. Длина палочки с крючком должна быть такой, чтобы нижний конец бумажки отстоял от дна пробирки на 75 *мм* (рис. 6). Подготовленные таким образом пробирки помещают в гнезда специального водяного термостата так, чтобы нижние края индикаторных бумажек были на уровне наружной поверхности крышки термостата. В одно из гнезд термостата предварительно помещают запаянную пробирку с эталоном окрашивания. В момент установки пробирок в термостат пускают в ход секундомер и непрерывно ведут наблюдение. Устанавливают время в минутах, по истечении которого на границе сухой и смоченной частей бумажки появится слабая бурая черта, по интенсивности окраски соответствующая эталону. Наблюдение за появлением черты и сравнение интенсивности окрасок производят в отраженном свете. Фиксируют оба результата, не выводя среднего. Нитроглицерин, предназначенный для производства промышленных ВВ, ис-

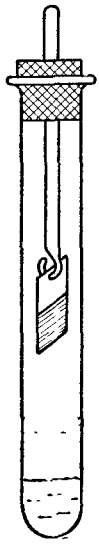

Рис. 6 Пробирка с нитроглицерином, подготовленная для испытания по йодокрахмальной пробе

пытывают при температуре 75±0,5°, при этом бурая полоска должна появиться не ранее, чем через 15 *мин*. Нитроглицерин для производства порохов должен выдерживать испытание при 72±0,5° не менее 30 *мин*.

Испытание должно производиться в отдельном от общей лаборатории помещении, хорошо вентилируемом и свободном от лабораторных газов. По окончании испытания пробирки тщательно очищают, промывают дистиллированной водой и высушивают. Все операции с йодокрахмальной бумажкой (вынимание из банки, подвешивание к крючкам и пр.) следует производить чисто вымытым и высушенным пинцетом. Для подвешивания бумажки на крючок ее прокалывают с помощью стеклянной палочки, оттянутой в виде шила, на специальном чистом куске стекла, имеющем небольшое отверстие.

б) Испытание порошкообразных веществ и желатиноообразных нитроглицериновых ВВ

Порошкообразные ВВ испытывают так же, как и нитроглицерин. В каждую пробирку помещают по 3,24 *г* испытуемого вещества. Перед взятием навесок ВВ разминают деревянным шпателем или пестиком так, чтобы в нем не было комков.

Гремучий студень и пластичные динамиты нарезают роговым или пластмассовым ножом на мелкие кусочки, из которых берут навеску 3,24 *г*. Эту навеску тщательно смешивают с 6,48 *г* хорошо промытого и высушенного при 70° талька (каолина), проверенного по йодокрахмальной пробе, которую он должен выдерживать не менее двух часов. Для испытания в каждую из пробирок берут по 3,24 *г* смеси динамита с тальком; в остальном поступают так же, как при испытании нитроглицерина.

Динамит смешивают с тальком, чтобы разделить сплошную массу на отдельные частицы, предотвратить их слипание и облегчить таким образом выход образующихся при разложении окислов азота.

Нитроглицериновые ВВ считают выдержавшими испытание, если они дают черту на бумажке не менее чем через 10 минут при температуре 75±0,5°.

Меры предосторожности

1. Нитроглицерин и другие ВВ после испытания ни в коем случае не смешивать с чистым продуктом, но сдавать для уничтожения.
2. Нитроглицериновые ВВ разрешается резать пластмассовым ножом на деревянной доске; не следует трогать их руками во избежание головной боли.
3. Смешение нитроглицериновых ВВ с тальком производить осторожно в пластмассовой или деревянной ступке таким же пестиком.
4. Во время испытания не оставлять термостат без присмотра.
5. Не допускать проливания нитроглицерина в термостат; если же это произошло, немедленно выключить обогрев и сообщить преподавателю.

6. Не оставлять пробирки с ВВ в термостате после появления черты на бумажке.

7. Все бумажки, на которые попал нитроглицерин, класть в специальный сосуд.

8. После работы всю посуду, загрязненную нитроглицерином, промыть спиртовым раствором щелочи, а затем тщательно отмыть водой и высушить.

Работа 3

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ НИТРОЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОРОХОВ ПО ПРОСТОЙ ЛАКМУСОВОЙ ПРОБЕ (ПРОБА ВЬЕЛЯ)

Сущность метода

Лакмусовую пробу (пробу Вьеля) применяют для испытания химической стойкости порохов (пироксилиновых и баллиститного типа). Она может быть также применена для оценки стойкости нитроцеллюлозы и других ВВ, при распаде которых образуются кислые продукты.

Испытание заключается в том, что навеску исследуемого вещества нагревают в герметично закрытом сосуде, куда помещен отрезок стандартной синей лакмусовой бумаги. Образующиеся при разложении кислые продукты вызывают изменение окраски бумаги. Время от начала нагревания до появления красной окраски лакмусовой бумаги является мерой стойкости при так называемой простой пробе. Помимо простой лакмусовой пробы, применяют и несколько вариантов повторной пробы, когда один и тот же образец пороха или ВВ нагревают последовательно иесколько раз, каждый раз с новым отрезком индикаторной бумаги. Повторные пробы требуют для своего выполнения сравнительно много времени, а потому в учебном практикуме не применяются и здесь не рассматриваются.

Лакмусовая проба обладает в принципе теми же недостатками, какие отмечены выше при описании йодокрахмальной пробы. Сопоставляя эти две пробы, можно отметить, что лакмусовая менее чувствительна и с ее помощью можно фиксировать лишь сравнительно позднюю стадию распада, когда концентрация кислых продуктов становится довольно большой. Соответственно, для получения результата в течение приемлемого времени испытание приходится вести при значительно более высокой температуре. Не позволяя судить о химической стойкости нового неизвестного ВВ, лакмусовая, как и другие индикаторные пробы, дает, однако, некоторое представление о степени чистоты хорошо изученного стандартного продукта, о наличии в нем опасных примесей или об изменении его характеристик за время хранения.

Результаты испытания по лакмусовой пробе могут значительно изменяться в зависимости от условий ее проведения, а также от остроты цветового зрения и других субъективиых качеств наблюдателя. Для уменьшения неопределенности результатов строго регламентированы как условия выполнения пробы (ГОСТ 5739—51), так и конструкция термостата (ГОСТ 7367—55), стеклянных стаканчиков (ГОСТ 8354—57) и других приспособлений. Так же как и для пробы Абеля, применяют специальную индикаторную бумагу, характеристики которой строго контролируют при выпуске.

Выполнение пробы

Образцы нитроцеллюлозы или пироксилинового пороха перед испытанием высушивают, нагревая в течение 2-х часов при температуре 95—100° в сушильном шкафу с водяным обогревом. Порох с труднолетучими растворителями сушке не подвергают. Если зерна пороха весят более 1 *г*, то их предварительно измельчают с помощью рычажных ножниц, тисков, разрезанием ножовкой либо

обточкой на токарном станке. Для испытания отбирают кусочки измельченного пороха, прошедшие через сито с отверстиями диаметром 8 *мм* и оставшиеся на сите с отверстиями 5 *мм*. Высушенный порох охлаждают в течение 1 часа в эксикаторе без водопоглощающих веществ.

Испытание проводят в специальных стаканчиках (рис. 7), которые перед опытом должны быть тщательно вымыты и высушены, а внутренняя поверхность

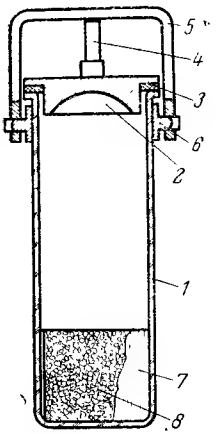

Рис. 7. Стаканчик с навеской пороха, подготовленный для испытания по лакмусовой пробе:
1 — стеклянный стаканчик; *2* — латунная крышка; *3* — резиновая прокладка; *4* — пружина замка; *5* — дужка замка; *6* — кольцо замка; *7* — лакмусовая бумажка; *8* — порох

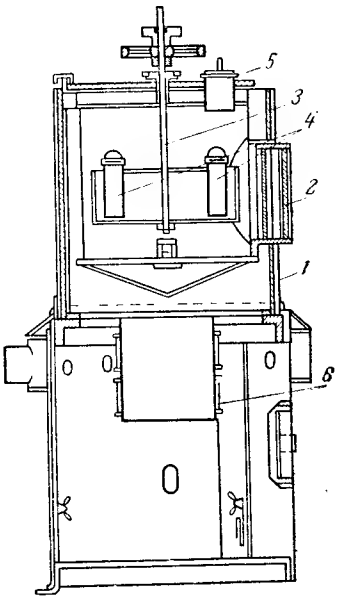

Рис. 8. Термостат для лакмусовой пробы:
1 — термостат; *2* — смотровое окно; *3* — вращающаяся этажерка; *4* — стаканчики с термометром и навесками пороха; *5* — отверстие для установки стаканчиков в термостат; *6* — электронагреватель

их крышек очищена наждачной бумагой до металлического блеска, тщательно промыта и высушена.

Специальную стандартную лакмусовую бумажку сворачивают в кольцо, сетчатой стороной наружу и вкладывают в стаканчик, прижимая ее к дну и стенкам. Лакмусовую бумажку нельзя брать руками; все операции с ней выполняют с помощью пинцета и чистой сухой стеклянной палочки.

Навеску пороха ($10\pm0{,}1$ *г*) или ВВ (в случае нитроцеллюлозы $2{,}5\pm0{,}1$ *г*) через специальную воронку с широким носиком насыпают в стаканчик с бумажкой. Нужно следить, чтобы частицы ВВ не попали между бумажкой и стенкой стаканчика. Стаканчик с навеской закрывают крышкой с резиновой прокладкой (рис. 7), которую укрепляют с помощью пружинного замка.

Устанавливают в термостате (рис. 8) нужную температуру. Стандартом предусмотрены 2 температуры испытаний: 106,5 и 115°. Для контроля текущей про-

дукции испытания ведут при 106,5°; ускоренное испытание пороха, длительное время хранимого в складе, ведут при 115°. Температуру термостата контролируют специальным укороченным термометром, который с помощью корковой пробки укрепляют в таком же стаканчике, в каком помещен испытуемый образец. Стаканчик с термометром помещают в одно из гнезд этажерки термостата.

Когда установится нужная температура, приостанавливают вращение этажерки термостата, открывают пробку бокового отверстия крышки и вставляют через него с помощью специальной латунной вилки стаканчики с испытуемыми навесками. Стаканчик помещают в гнездо этажерки термостата так, чтобы стык лакмусовой бумажки был обращен наружу. Как правило, для испытания каждого образца пороха или ВВ берут две параллельные пробы. Сразу же после установки стаканчиков закрывают крышку термостата и включают вращение этажерки. За температурой и изменением цвета лакмусовых бумажек наблюдают через смотровое окно термостата. В течение всего испытания через каждые полчаса записывают показания термометра и наблюдаемый цвет лакмусовой бумажки во всех стаканчиках. Обычно различают следующие оттенки окраски бумаги: синий, сине-фиолетовый, фиолетовый, фиолетово-розовый, розовый и красный. Испытание каждой навески продолжают до появления красного окрашивания лакмусовой бумажки либо до появления бурых паров, но не более 7 часов при температуре 106,5° и не более 2,5 часов при 115°. Концом испытания по окраске бумаги считают момент, когда наиболее отчетлива разница в оттенках красного цвета в однослойном и двойном слоях бумаги вблизи стыка. Результаты испытания для каждой из параллельных проб выражают числом часов, с округлением до получаса, и среднего не выводят.

Меры предосторожности

1. Порох после испытания ни в коем случае не смешивать со свежим, но сдавать для уничтожения.
2. В течение всего времени испытания не оставлять термостат с навесками пороха без присмотра.
3. По окончании испытания каждой отдельной навески (появление красной окраски или о с о б е н н о появление бурых паров) немедленно вынимать соответствующий стаканчик из термостата с помощью вилки.
4. Режут и измельчают порох в специально отведенном для этого месте под непосредственным наблюдением преподавателя или лаборанта. Выполняющий эту работу должен одеть защитную маску и перчатки. Вблизи от рабочего места должен быть сосуд с водой и другие средства для тушения огня в случае загорания пороха. Не допускать скопления более 5 *г* измельченного пороха, стружек и опилок на рабочем месте. При работе на токарном станке пороховую стружку убирать после каждого прохода резца.

Работа 4

ОЦЕНКА СЛЕЖИВАЕМОСТИ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВВ

Содержание работы

ВВ, содержащие значительные количества аммиачной селитры, склонны к слеживанию, в результате которого сыпучий порошок по истечении некоторого времени превращается в прочный конгломерат. Одновременно значительно ухудшается, а иногда и практически утрачивается детонационная способность. Основной причиной слеживания является выделение из пленки насыщенного раствора, покрывающей частицы селитры, новых кристалликов, связывающих между собой частицы порошка. Кристаллики выделяются при высыхании увлаж-

ненного аммонита, а также при понижении его температуры. Основными факторами, благоприятствующими слеживанию, являются значительные периодические изменения влажности аммонита и температуры хранения. Резко ускоряет слеживание сдавливание, уплотнение порошка.

Способность аммонитов разного состава к слеживанию, а также эффективность специальных добавок и технологических приемов, понижающих слеживаемость, часто оценивают, подвергая попеременному увлажнению и высыханию образцы, находящиеся под некоторым уплотняющим давлением. Мерой слеживаемости при таких испытаниях обычно считают прочность получившегося конгломерата, определяемую усилием раздавливания образчика на прессе, либо усилием, необходимым для внедрения в него острия определенной формы и размеров. Подобные способы оценки склонности к слеживанию применяются и для невзрывчатых веществ, например удобрений (они описаны в соответствующих руководствах).

Для оценки взрывчатых веществ большое значение имеют методы, позволяющие определять не плотность или прочность слежавшегося аммонита, а изменение его взрывчатых свойств в результате слеживания. В качестве свойства, наглядно характеризующего детонационную способность, в настоящей работе выбрано максимальное расстояние передачи детонации между патронами. Влияние слеживания на свойства аммонита оценивают по уменьшению этого расстояния.

Методика работы

Около 250 *г* испытуемого аммонита рассыпают ровным слоем толщиной около 10 *мм* по дну предварительно взвешенного стеклянного кристаллизатора. Кристаллизатор с аммонитом взвешивают и помещают в эксикатор с 15%-ным водным раствором серной кислоты. Относительная влажность воздуха над серной кислотой такой концентрации составляет при комнатной температуре около 90%. Аммонит выдерживают в эксикаторе, до тех пор пока влажность его не увеличится на 1,5—2,0%. Количество поглощенной влаги контролируют периодическим взвешиванием. Увлажненный аммонит тщательно перемешивают и готовят из него заряды диаметром 25—40 *мм*, весом по 25 *г*. Диаметр заряда выбирают так, чтобы он в 2—3 раза превышал критический диаметр детонации для кондиционного аммонита данного состава. Гильзы для зарядов готовят из фильтровальной либо из обычной патронной бумаги. В последнем случае в гильзе делают 70—100 проколов иглой, равномерно располагая их по всей поверхности бумаги, соприкасающейся с аммонитом. В зависимости от состава и уплотняемости аммонита плотность зарядов из увлажненного порошка доводят по указанию преподавателя до 1,0—1,3 *г/см*^{3}.

Увлажненные заряды взвешивают с точностью до 0,1 *г* и помещают в эксикатор над концентрированной серной кислотой, где выдерживают несколько дней, периодически проверяя их вес. Заряды, высушенные до постоянного веса, применяют в дальнейшем в качестве пас-

сивных для определения максимального расстояния передачи детонации (методику определения расстояния передачи детонации см. в описании работы 13, на стр. 83). При манипуляциях со слежавшимися зарядами надо соблюдать осторожность, чтобы не разрушить образовавшийся конгломерат. Параллельно испытывают аналогичные заряды равной плотности из того же аммонита, не подвергавшиеся увлажнению и высушиванию. В обоих случаях применяют одинаковые активные заряды весом по 50—100 *г* при плотности 1,0 *г/см*^{3} из одинакового, не слежавшегося аммонита. Обычно определяют для каждого вида пассивных зарядов максимальное расстояние, на которое детонация еще передается в трех последовательных опытах (R_{100}). Изменение этого расстояния служит сравнительным показателем слеживаемости.

Меры предосторожности

1. Эксикаторы с аммонитом следует держать в специальном шкафу, который должеи быть заперт.
2. Взрыв зарядов вести по специальной инструкции

—·—

Глава II

ГОРЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
(*Уи.* IV, *5—8*, 153—193)

Работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ К ГОРЕНИЮ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ГОРЕНИЯ)

Содержание работы

В процессе горения ВВ тепло, выделяющееся в реакционной зоне, передается слою непрореагировавшего вещества, разогревает его и вызывает в нем экзотермическую реакцию. Передача тепла от слоя к слою обеспечивает самораспространение горения. Наряду с разогревом очередного слоя ВВ происходит отвод тепла в окружающую среду. Если количество тепла, отводимого в окружающую среду, слишком велико, то горение становится невозможным. Все факторы, увеличивающие скорость отвода тепла во вне или вглубь заряда ВВ, препятствуют распространению горения. Напротив, факторы, увеличивающие скорость тепловыделения в реакционной зоне или затрудняющие теплоотвод, благоприятствуют распространению горения.

Способность к горенню — важная характеристнка ВВ; знанне ее позволяет оценнть поведенне вещества прн различных условнях производства н прнменення. Следует отметнть, в частностн, что способность ВВ к горенню определяется в основном темн же параметрами вещества, какнми определяется н его воспламеняемость. Непосредственно оценнть воспламеняемость, являющуюся весьма важной характеристнкой порохов н ВВ, затруднительно, особенно прн высоких давленнях. Гораздо легче определнть в этнх условнях способность к горенню, а по ней оценнть н воспламеняемость.

Мерой способности ВВ к горению может служить одна из характеристик заряда или внешних условий, изменение которой влияет на соотношение теплоприхода и теплоотвода при горении. Такими характеристиками являются, например, наименьший размер (диаметр в случае цилиндра или толщина в случае плоского слоя) заряда, давление, начальная температура, а для порошкообразных ВВ и плотность заряда. Способность к горению характеризуют критическим значением

одного из этих параметров, при котором стационарное горение становится невозможным.

Критические значения параметров, характеризующие способность к горению, связаны друг с другом; каждое из них зависит от всей совокупности условий опыта, влияющих на скорости теплоприхода и теплоотвода. Понятно поэтому, что критическое значение одного из параметров следует находить при постоянных, фиксированных значениях всех остальных.

Чаще всего способность к горению характеризуют критическим значением диаметра заряда, т. е. наименьшим его размером, при котором еще возможно устойчивое горение при данных условиях. Эту характеристику и называют критическим диаметром горения ВВ. Напомним, что связь возможности горения с размером заряда обусловлена тем, что с уменьшением диаметра теплоприход уменьшается быстрее (пропорционально квадрату диаметра), чем теплоотвод (пропорционально первой степени диаметра). Подробнее об этом см. *Уч.*, IV, *5*, 154—156.

Методика выполнения опытов

В зависимости от агрегатного состояния и других свойств исследуемого ВВ, а также заданных внешних условий опыты проводят по одному из описанных ниже вариантов. Соответственно полученному заданию находят либо критический диаметр горения при постоянных значениях всех параметров, характеризующих заряд и условия опытов (температура, давление, плотность заряда, материал оболочки и др.), либо ряд критических диаметров при нескольких значениях одного из этих параметров. В последнем случае результаты опытов, помимо таблиц и записей, представляют графиком.

В большинстве случаев предусмотрено помещение заряда в жидкость (воду). Дело в том, что в жидкости теплоотвод от наружной поверхности заряда сильнее, чем в газе, и критический диаметр, соответственно, больше. Если сжигать заряды в среде газа, то во многих случаях критический диаметр оказался бы так мал, что заряды было бы трудно изготовить, а точность определения была бы невысока.

а) Определение критического диаметра горения порохов при атмосферном давлении

Из пороховой шашки на токарном станке вытачивают конус или усеченный конус с углом при вершине 10—15° и высотой 5—7 *см*. Боковую поверхность конуса покрывают несколькими слоями лака (бронировка), полученного путем растворения перхлорвиниловой смолы в дихлорэтане. Толщина покрытия должна быть около 0,1 *мм*. Каждый последующий слой лака наносят (кисточкой или погружением шашки в лак) только после полного высыхания предыдущего слоя.

Бронированную пороховую шашку с помощью пластилина укрепляют, большим диаметром кверху на дне стеклянного стакана емкостью 200—300 *см*^{3}. Стакан заполняют водой, уровень которой должен быть на 5—7 *мм* ниже верхнего среза шашки. Изменяя темпе-

ратуру воды или другой жидкости, можно в случае необходимости изучить зависимость критического диаметра горения от температуры. Чтобы исключить влияние на процесс горения кислорода воздуха, стакан с зарядом помещают в другой большой стакан, который через трубку, опущенную до его дна, заполняют углекислым газом (рис. 9).

Пороховую шашку со стороны большего диаметра поджигают плоской спиралью из нихромовой проволоки, нагреваемой электрическим током. Если шашка сгорела полностью или, напротив, совсем не загорелась, берут другую шашку, соответственно меньшего или большего диаметра. Критическим считают тот диаметр, при достижении которого горение прекратилось. Этот диаметр измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 *мм*.

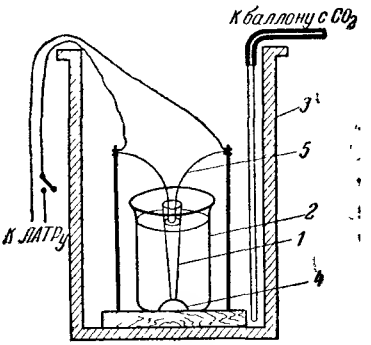

Рис. 9. Схема определения критического диаметра горения при атмосферном давлении:

1 — коннческий заряд пороха нлн коннческая трубка с жидкнм ВВ; *2* — стеклянный стакан с водой, *3* — наружный прозрачный сосуд; *4* — пластнлин; *5* — спираль нз ннхромовой проволоки

Для каждого образчика пороха проводят два параллельных испытания.

б) Определение критического диаметра горения жидких ВВ при атмосферном давлении

Исследуемое вещество наливают в стеклянную трубку, выполненную в виде конуса с углом при вершине 10—15°. Уровень жидкого ВВ должен на 3—5 *мм* не доходить до края трубки. Конус помещают в стакан с водой. Уровни жидкости в трубке и воды в стакане должны приблизительно совпадать. Стакан с водой помещают в стакан бо́льшего размера, заполняемый перед опытом углекислым газом (рис. 9). Зажигание осуществляют спиралью из нихромовой проволоки, нагреваемой электрическим током. Спираль должна только слегка касаться поверхности жидкости. Ни в коем случае нельзя погружать спираль в жидкость, это может привести к взрыву.

Внутренний диаметр конуса на уровне, где прекратилось горение, измеряют штангенциркулем. Если этого сделать нельзя, то на уровне оставшегося жидкого ВВ напильником осторожно делают снаружи надрез на стекле, жидкость выливают, отламывают трубку по надрезу и измеряют диаметр в этом месте с помощью штангенциркуля или микроскопа. Для определения толщины стенок конуса на том же уровне измеряют и внешний диаметр.

В тех случаях когда стеклянный конус при горении трескается и вода заливает ВВ, конус снаружи покрывают слоем перхлорвинилового лака. Для каждого вещества проводят два параллельных испытания.

в) Определение критического диаметра горения порошкообразных ВВ при атмосферном давлении

Критический диаметр горения порошкообразных ВВ можно в принципе определить тем же способом, как и в случае жидких. В конусе, однако, трудно контролировать плотность заряда и почти невозможно обеспечить однородную плотность по всей высоте. Для порошкообразных ВВ определяют поэтому минимальный диаметр цилиндрического заряда, при котором горение еще распространяется.

Для опыта готовят отрезки стеклянных трубок соответствующих диаметров (измеряют как внутренний, так и внешний диаметры)[1], закрытые с одной стороны резиновой пробкой. В верхней части трубки должны иметь коническое расширение (угол конуса 15—20°, длина около 1 диаметра цилиндрической части). Наличие такого расширения облегчает зажигание вещества. В трубки засыпают испытуемое ВВ, которое подпрессовывают, если это необходимо, до заданной плотности деревянным или пластмассовым пуансоном. Для обеспечения равномерной плотности заряда по высоте прессование производят отдельными порциями, причем каждый раз запрессовывают столбик ВВ, высота которого не больше чем диаметр трубки. Общая высота заряда должна быть не менее 5 диаметров.

Плотность заряда сильно влияет на способность к горению, причем для одних ВВ увеличение плотности может увеличивать критический диаметр горения, а для других — уменьшать его. Следует поэтому точно определять плотность каждого заряда (расчетом, по известным размерам и весу его).

Опыт проводят так же, как в случае жидких ВВ. Одновременно с определением критического диаметра измеряют среднюю скорость горения одним из способов, описанных в работе 7. Последовательными опытами находят наименьший диаметр заряда, при котором еще возможно устойчивое горение. Очевидно, что для этого нужно найти также наибольший диаметр заряда, при котором горение в данных условиях затухает.

Результаты опытов заносят в таблицу, примерная форма которой приведена ниже.

г) Определение критического диаметра горения при повышенных давлениях

Для определения критического диаметра горения при повышенных давлениях применяют бомбу постоянного давления. Опыты в бомбе проводят так же, как при выполнении работы по изучению горения ВВ при повышенном давлении (см. описание работы 6). Заряды готовят так же, как описано выше, учитывая, однако, что при повышенных давлениях критический диаметр обычно сильно уменьшается.

---

[1] В зависимости от размера трубок диаметры измеряют штангенциркулем, микрометром или с помощью измерительного микроскопа.

Форма записей в рабочем журнале к работе 6 «Измерение критического диаметра горения»

Определение критического диаметра горения_____ (название ВВ)

Опыты проведены при_____°С в воде, углекислоте, азоте, воздухе (ненужное зачеркнуть) при давлении_____*кг/см²*

Диаметр трубки, *см*		Вес трубки, *г*		Вес ВВ, *г*	Длина заряда, *см*	Плотность заряда, *г/см³*	Наблюдения при опыте	Расстояние между метками на заряде, *см*	Время горения, *сек*	Средняя скорость горения	
внутрен.	наружн.	пустой	с ВВ							линейная *см/сек*	массовая, *г/см²·сек*

Для испытания жидких ВВ применяют стеклянные капилляры уменьшающегося диаметра. Внутренний и внешний диаметр капилляра в том месте, где горение прекратилось, измеряют после опыта с помощью микроскопа, предварительно отрезав капилляр на уровне оставшейся в нем жидкости.

Для порохов удобнее определять не критический диаметр цилиндрического или конического заряда, а критическую толщину отрезка порохового полотна, имеющего форму плоского клина. Такое полотно получают, пропуская порох через нагретые вальцы, оси которых расположены не параллельно, как обычно, а под некоторым небольшим углом. Из этого полотна вырезают клинообразные полоски шириной 5 *мм*, длиной 4—5 *см* и толщиной в верхней части 1—2 *мм*. Полоски бронируют перхлорвиниловым лаком так, как это описано выше для конусов. Бронированные полоски приклеивают тем же лаком к тонкой деревянной планке, которую с помощью пластилина укрепляют вертикально на дне стакана (рис. 10). Стакан с образчиком помещают в бомбу постоянного давления. После опыта, проведенного при определенном давлении, с помощью микроскопа или микрометра измеряют толщину края несгоревшей части заряда. При каждом давлении проводят два определения.

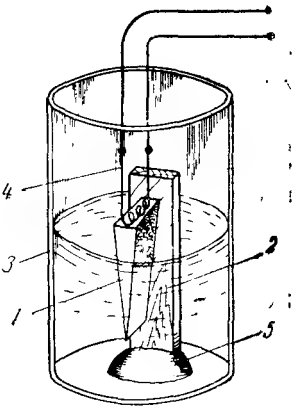

Рис. 10. Схема определения критической толщины горения пороха:

1 — бронированная пластинка пороха в форме клина; *2* — деревянная пластинка; *3* — стеклянный стакан с водой; *4* — спираль для зажигания; *5* — пластилин

Меры предосторожности

1. Определение критического диаметра при атмосферном давлении производить в защитных очках, с обязательным ограждением установки со всех сторон прочными щитами или помещением ее в защитный шкаф. Смотровые окна в щите или шкафу должны быть из оргстекла толщиною не менее 10 *мм*.

2. Вес заряда не должен, как правило, превышать 3 *г*, а при опыте в бомбе — 1 *г*. Заряды большего веса разрешается применять только с письменного разрешения руководителя.

3. Уплотнение порошкообразных веществ до плотности, не превышающей 1,2 *г/см*^{3}, производить деревянным или пластмассовым пуансоном вручную. Если необходимо провести испытания зарядов большей плотности, их следует прессовать с помощью гидравлического пресса с соблюдением мер безопасности, предусмотренных специальной инструкцией.

4. Обработку порохов на токарном станке разрешается производить только под непосредственным наблюдением лаборанта. Работу производить в защитных очках. Не допускать скопления пороховой стружки. Стружка должна убираться после каждого прохода резца. Возле станка должен находиться сосуд с водой и другие средства тушения огня. Станок должен иметь прозрачный щиток из оргстекла, укрепляемый на суппорте.

5. Проволочная спираль для зажигания жидких ВВ должна лишь слегка касаться жидкости. Не разрешается погружать спираль в жидкое ВВ во избежание взрыва.

6. После затухания горения, а также в случаях когда ВВ не загорелось, нужно выждать не менее 5 минут после выключения тока или прекращения горения, прежде чем открывать защитный шкаф или извлекать заряд из-за щита.

Работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ

Сущность метода

Скорость горения, ее зависимость от давления и температуры, а также способность вещества к устойчивому горению являются важными характеристиками ВВ, в первую очередь в отношении возможности его использования как метательного ВВ. Помимо этого по зависимости скорости горения от давления, а также по характеру (равномерному или пульсирующему) горения при разных давлениях можно судить о его склонности к переходу во взрыв.

Для определения скорости горения обычно готовят заряды ВВ или пороха в трубочках из прозрачного, негорючего либо трудногорючего материала или бронируют поверхность их трудногорючим лаком, полимеризующимся веществом и т. п. Подготовленные заряды

сжигают в так называемых бомбах постоянного давления, представляющих собой аппараты достаточной прочности и такого объема, что сгорание принятого для данной бомбы количества ВВ вызывает повышение давления в ней не более чем на несколько процентов от его начального значения[1].

Опыты, как правило, ведут в атмосфере инертного газа (обычно азота), чтобы избежать возможного участия кислорода воздуха в процессе горения.

Известны различные конструкции бомб постоянного давления, предназначенные для исследования горения разных типов ВВ, в различных интервалах давлений, при существенно разных величинах зарядов и т. д. Ниже описаны некоторые простые конструкции, применяемые в учебных лабораториях.

Для наблюдения за ходом горения и определения его скорости используют различные способы. Широкое применение находит фотографирование распространения светящегося фронта горения на движущуюся пленку (фоторегистр непрерывной развертки или кинокамера). Этот способ, принятый и в данном практикуме, позволяет не только измерять скорость горения, в том числе и нестационарного, но и получать, анализируя снимки, весьма ценные сведения о процессе горения. Для этой цели применяют бомбы, снабженные окнами из прозрачного материала, а для опытов при малых давлениях — прозрачные сосуды. В случаях, когда пламя горения ВВ недостаточно актинично, используют посторонний источник света, фотографируя тень заряда или его изображение в отраженном свете. Когда скорость горения мала и постоянна, ее можно измерить, отсчитывая по секундомеру время сгорания участков заряда известной длины, при визуальном наблюдении.

Не всегда можно применять бомбы с окнами. В таких случаях для измерения скорости горения в заряде помещают на известных расстояниях несколько тонких проволочек, перегорающих при прохождении фронта пламени; интервалы времени между моментами перегорания проволочек измеряют с помощью электросекундомера или осциллографа. Известны и другие методы измерения времени сгорания участка заряда известной длины, позволяющие найти среднюю скорость горения на этом участке.

Проводя серию опытов при различных давлениях, получают зависимость скорости горения от давления. Помещая прибор, в котором производят сжигание, в термостат, или, наоборот, помещая термостат с зарядом в прибор постоянного давления, можно изучать горение при изменении двух важнейших параметров — давления и температуры (см. *Уч.* IV, *8*, 189—193).

---

[1] Часто применяют бомбы значительно меньшего объема, но для поддержания постоянства давления при опытах соединяют бомбу с дополнительной емкостью. Бомба и емкость должны быть соединены трубкой достаточного сечения, для того чтобы при горении не возникало заметного динамического повышения давления. Наличие вентиля на этом трубопроводе позволяет, кроме того, уменьшить расход азота на опыты.

Устройство приборов для исследования горения ВВ при высоком давлении и порядок работы с ними

а) Бомба с рабочим давлением до 120 *ат*

Основной частью установки является бомба с щелевидными окнами (рис. 11). Давление от 1 до 120 *кг/см*^{2} создают в бомбе, соединяя ее с баллоном со сжатым азотом. Другой стандартный баллон, имеющий вентиль с увеличенным проходным отверстием, служит дополнительной емкостью. В нижней половине бомбы расположены окна, закрытые толстыми пластинами органического стекла. На нижней ввинтной крышке бомбы установлен столик с токоподводящими клеммами, на котором перед опытом укрепляют заряд.

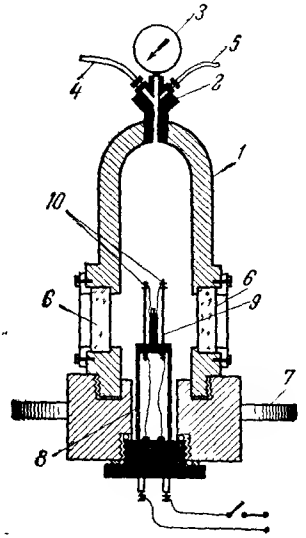

Рис. 11. Бомба для исследования горения при давлениях до 120 *кг/см*^{2}:
1 — корпус; *2* — соединительная крестовина; *3* — манометр; *4* — трубка к дополнительной емкости; *5* — трубка к баллону с азотом; *6* — окна из органического стекла; *7* — фланец для крепления бомбы; *8* — столик для образца; *9* — образец ВВ или пороха; *10* — клеммы для поджигающей спирали

Порядок работы. На столик устанавливают заряд ВВ, а к токоподводящим клеммам присоединяют спираль из нихромовой проволоки диаметром 0,2—0,5 *мм*. Витки спирали должны быть прижаты к открытому торцу заряда. Крышку с зарядом ввертывают в корпус бомбы до отказа. После этого подсоединяют к наружным клеммам свечей провода от источника тока для зажигания, предварительно убедившись, что они не находятся под напряжением. Из баллона наполняют бомбу и дополнительную емкость азотом до необходимого давления и, закрыв вентиль на баллоне, проверяют по манометру постоянство давления в бомбе. Включив фоторегистр, производят воспламенение заряда, присоединяя цепь зажигания к источнику тока с соответствующим напряжением (обычно 10—20 вольт). Порядок подготовки заряда и работы с фоторегистром описан ниже.

После опыта закрывают вентиль на дополнительной емкости, выпускают газ из бомбы в вентиляцию, вывинчивают крышку, протирают бомбу и готовят ее к следующему опыту.

б) Установка с рабочим давлением до 500 *ат*

Горение ВВ и порохов при постоянном давлении до 500 *кг/см*^{2} изучают в более прочной бомбе емкостью 1,5—2 *л*[1]. При давлениях выше 100 *кг/см*^{2} в бомбе данного объема можно ожигать заряды весом до

[1] Максимальное давление 500 *кг/см*^{2} приведено здесь как ориентировочное для бомбы данной конструкции. Для каждой отдельной бомбы на основе расчета и гидравлического испытания должно быть устаиовлено предельное допустимое давление.

1 *г* без применения дополнительной емкости для поддержания постоянства давления. Устройство бомбы ясно из схематического чертежа, приведенного на рис. 12. Расположение окон бомбы позволяет фотографировать свечение пламени, а также проводить съемку теневым методом либо в отраженном свете. В крышке бомбы есть изолированные электрические вводы для присоединения поджигающей спирали, нагревающей обмотки термостата и термопар.

Испытуемое ВВ помещают в специальном держателе (см. ниже рис. 16), устанавливаемом в центре столика. Столик при помощи гаек можно поднять или опустить в зависимости от высоты держателя и заряда ВВ. Необходимое давление инертного газа (азота) в бомбе создают с помощью лабораторного компрессора. Схема всей установки приведена на рис. 13. По соображениям безопасности щит управления отделен от помещения, где установлена бомба, капитальной стеной.

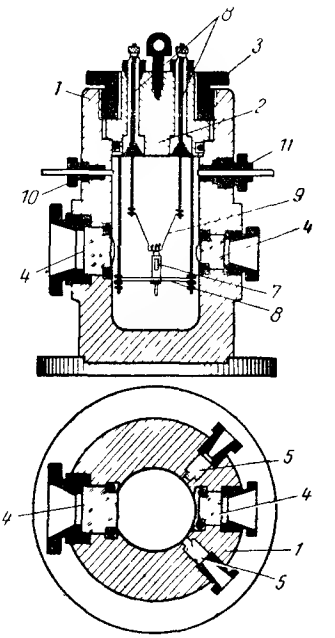

Рис. 12. Бомба для исследования горения под давлением до 500 *кг/см*²:

1 — корпус; *2* — крышка с уплотняющим кольцом; *3* — прижимное кольцо; *4* — окна для регистрации процесса горения; *5* — окна для подсветки; *6* — столик для образца; *7* — заряд ВВ; *8* — изолированные электровводы; *9* — спираль из нихромовой проволоки для воспламенения; *10, 11* — вводы для соединения с компрессором и вентилем для сброса газа из бомбы после опыта

Подготовка установки. Включают водяное охлаждение компрессора. Соединяют баллон с азотом через редуктор, резиновый шланг и промежуточную резиновую емкость с входом компрессора. Протирают внутреннюю полость бомбы, а также крышку и стекла окон, резьбу смазывают маслом, проверяют наличие соответствующих уплотняющих прокладок. Налаживают регистрирующую систему, поскольку экспериментатор в дальнейшем управляет работой бомбы из другого помещения. Фоторегистр или кинокамеру устанавливают перед окном бомбы и, перемещая объектив, добиваются, чтобы изображение заряда четко проектировалось на фотоматериал[1].

Проведение опыта. Заряд ВВ или пороха укрепляют в держателе. К клеммам подсоединяют зажигательную спираль, витки которой прижимают к торцу заряда. Снаряженную таким образом крышку устанавливают в бомбу и завертыванием прижимного кольца вводят до отказа[2]. Наружные клеммы крышки соединяют с электрической сис-

[1] Подробнее о способах фоторегистрации горения ВВ, а также об устройстве фоторегистра см. ниже.

[2] Крышка снабжена самоуплотняющейся прокладкой, и герметичность бомбы не зависит от усилия затягивания прижимного кольца, которое достаточно завернуть рукой.

темой зажигания, убедившись предварительно в том, что она не находится под напряжением.

Затем затемняют помещение, заряжают фоторегистр пленкой или приводят в готовность кинокамеру.

Дальнейшие операции производят из-за стены. Включают компрессор, открыв редуктор на баллоне для подачи азота и создают в бомбе необходимое давление, о величине которого судят по манометру на щите управления.

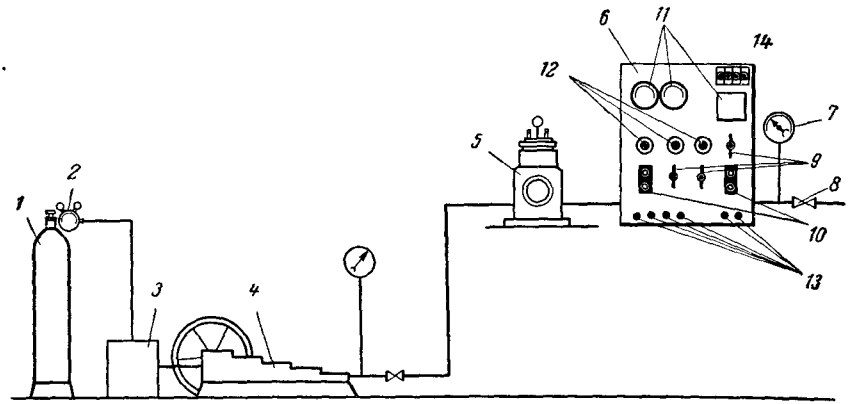

Рис. 13. Схема установки и щита управления для исследования горения при постоянном давлении до 500 *кг/см*²:

1 — баллон с азотом; *2* — редуктор; *3* — газгольдер; *4* — компрессор; *5* — бомба (см. рис.12); *6* — щит управления; *7* — манометр, показывающий давление в бомбе; *8* — вентиль для выпуска газов из бомбы в вентиляцию; *9* — рубильники; *10* — кнопки пускателей; *11* — вольтметры, амперметр; *12* — сигнальные лампы; *13* — клеммы для присоединения трансформатора цепи зажигания, потенциометра, регулирующего нагрев термостата и других приборов

По достижении нужного давления останавливают компрессор, закрывают вентиль компрессора и баллона с азотом, включают фоторегистр и через 20—30 *сек* после этого — зажигание. Убедившись в том, что заряд сгорел (маномер показал небольшой и быстрый прирост давления), выключают фоторегистр, выпускают азот и продукты горения из бомбы в вентиляцию, извлекают пленку для проявления, отвинчивают крышку бомбы и готовят следующий опыт.

в) Приборы для исследования горения в вакууме и при умеренно повышениых давлениях

Исследование горения в вакууме и при низких давлениях можно, при отсутствии специальных бомб, вести с помощью более простых приборов и приспособлений. Так, для опытов при атмосферном давлении можно применить схему, показанную на рис. 9 (см. стр. 27), заменив в ней конический заряд цилиндрическим и устранив в случае необходимости стакан с водой.

Опыты в вакууме и при давлениях до 2 *атм* можно вести в широкой стеклянной трубке, закрываемой резиновой пробкой и соединяе-

мой с манометром, дополнительной емкостью и вакуум-насосом либо с баллоном сжатого азота через редуктор (рис. 14). При давлениях до 20 *атм* можно также работать в стеклянных трубках, но соединенных с металлической головкой (рис. 15). Соединение осуществляют

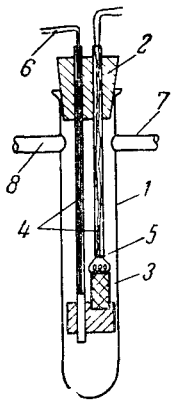

Рис. 14. Трубка для исследования горения при давлении до 2 *кг/см²*:
1 — стеклянная трубка диаметром 30 *мм*; *2* — резиновая пробка; *3* — заряд ВВ; *4* — тонкие стеклянные трубки; *5* — спираль для поджигания; *6* — термопара; *7* — отвод к дополнительной емкости и баллону с азотом (или вакуум-насосу); *8* — отвод к манометру

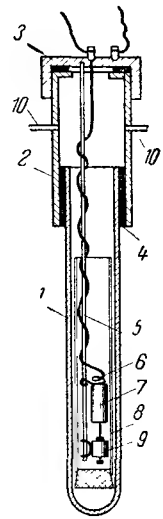

Рис. 15. Трубка для исследования горения при давлении до 20 *кг/см²*:
1 — стеклянная трубка; *2* — стальная трубка; 3 — навинтная крышка; *4* — герметизирующая замазка; *5* — металлический стержень. *6* — спираль для воспламенения; *7* — заряд ВВ; *8* — защитная трубка из тонкого стекла; *9* — держатель, *10* — отводы к манометру и дополнительной емкости

с помощью какой-либо твердеющей замазки (менделеевской, глет-глицериновой, эпоксидной смолы и т. д.). Опыты при разных температурах производят, помещая ту часть стеклянной трубки, где находится заряд, в термостат.

Подготовка зарядов ВВ и порохов

Заряды готовят различными приемами в зависимости от агрегатного состояния ВВ и необходимой плотности.

Жидкие взрывчатые вещества заливают в стеклянные пробирки, предварительно измерив их диаметр. Вещества, обладающие более высокой вязкостью (желатинированные или загущенные добавкой полимера нитроэфиры), засасывают в стеклянные трубочки с помощью

резиновой груши, после чего нижний конец трубочки закрывают резиновой пробкой.

Заряды сравнительно малой плотности из порошкообразных ВВ готовят также в стеклянных трубках, запаянных или закрытых пробкой с одного конца. Вещество подпрессовывают вручную деревянным или пластмассовым пуансоном в несколько приемов так, чтобы получить возможно более равномерную плотность. При этом точно измеряют вес ВВ, диаметр и высоту его столбика.

Заряды порошкообразных ВВ большой плотности готовят прессованием на гидравлическом прессе в виде шашек, которые затем бронируют, или непосредственным прессованием в стаканчик или трубочку из органического стекла. Бронировку осуществляют многократным покрытием боковой поверхности шашек слоем того или иного плохо горящего прозрачного лака, например раствора перхлорвиниловой смолы в дихлорэтане. Следующий слой накладывают лишь после полного высыхания предыдущего.

Пороховые заряды готовят как горячим прессованием, глухим или проходным, так и вытачиванием на токарном станке из шашек большого диаметра. Пороховые заряды также бронируют лаком, а иногда, кроме того, плотно вставляют в отрезок стеклянной трубки.

Определение скорости и характера горения ВВ

Обычно скорость определяют не на всей длине заряда, а лишь в его средней части, чтобы избежать влияния воспламенителя, а также возможного влияния дополнительного прогрева вещества в нижней части заряда через стенки и дно пробирки. Необходимый участок заряда отмечают на его прозрачной оболочке, нанося метки черной тушью или краской либо наклеивая кольцевые полоски черной бумаги, или, наконец, ограничивают этот участок рамкой держателя (см. рис. 16), для изготовления которого используют металлическую трубку с внутренним диаметром несколько большим, чем диаметр оболочки заряда. При малых скоростях горения распространение пламени можно наблюдать визуально, отсчитывая время горения по секундомеру. Зная длину участка заряда и время его сгорания, легко найти среднюю скорость горения.

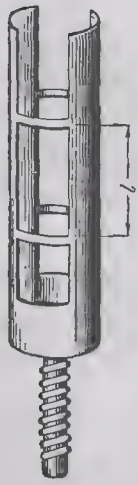

Рис. 16. Держатель для заряда ВВ или пороха, сжигаемого в бомбе:
l — база для определения скорости горения

Быстрое горение можно исследовать, фотографируя распространение светящегося фронта на непрерывно движущуюся пленку (фоторегистр) или снимая его киноаппаратом. В фоторегистре пленка закреплена на вращающемся барабане, ось которого параллельна направлению распространения горения. С помощью синхронного электромотора и редуктора можно получать различные определенные скорости вращения барабана. На рис. 17 показана фотография простой мо-

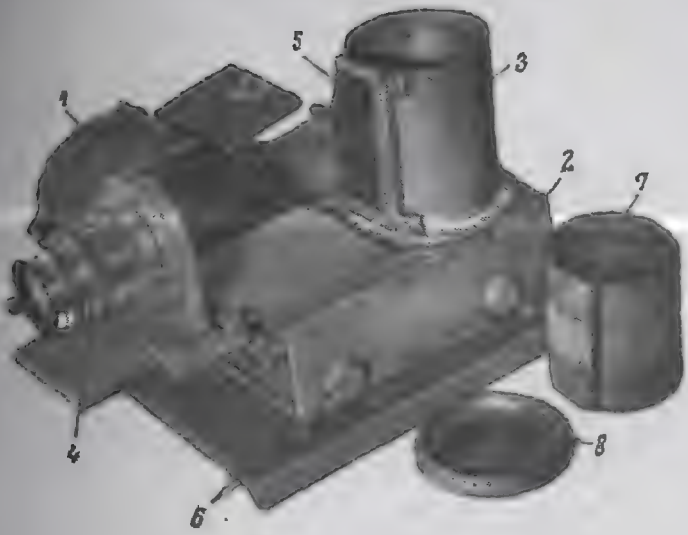

Рис. 17. Простая модель фоторегистра для измерения скорости горения:

1 — синхронный мотор; *2* — редуктор; *3* — кожух барабана; *4* — объектив; *5* — щель; *6* — рукоятки коробки перемены скоростей; *7* — барабан; *8* — крышка кожуха

Рис. 18. Фоторегистр ФР-11

дели фоторегистра, а на рис. 18—внешний вид фоторегистра ФР-11 позволяющего вести исследования в широком диапазоне скоростей горения.

Перед фотографированием производят наводку на фокус, для чего в держатель, укрепленный на столике крышки бомбы, вводят прозрачную модель заряда (стеклянную трубочку такого же диаметра с полоской, нанесенной тушью на внутренней стороне стенки) и ввинчивают крышку в бомбу. Установив фоторегистр перед окном бомбы, включают освещение перед другим окном и находят такое положение объектива, при котором изображение модели заряда проектируется на барабане наиболее отчетливо. При этом на барабане вместо пленки укрепляют полоску белой бумаги.

Четкость получаемого изображения на пленке зависит от актиничности пламени исследуемого заряда, ширины щели фоторегистра, примененной диафрагмы и чувствительности фотоматериала. Желательно работать при минимальной ширине щели, обеспечивающей еще получение ясно видимого изображения, соответственно диафрагмируя объектив. Диафрагму и ширину щели подбирают предварительными опытами. Подготовив бомбу к опыту, закрепляют на барабане фоторегистра отрезок пленки и после пуска мотора фоторегистра производят воспламенение заряда ВВ. Пленку обычно обрабатывают контрастным быстроработающим проявителем, закрепляют, промывают и сушат. Полученная фотография служит для определения скорости горения.

Обработку результатов опыта производят путем изучения и обмера полученного негатива или позитива. Негатив просматривают на специальном столике с нижней подсветкой или через увеличитель. Детальное изучение полученного изображения позволяет судить о харак-

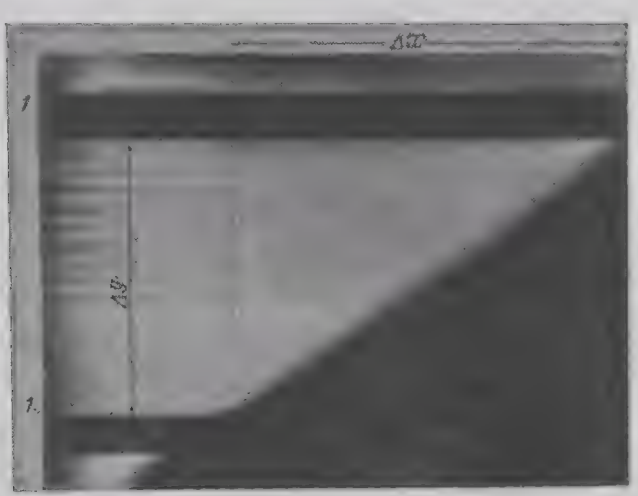

Рис. 19. Образец фоторегистрации горения в бомбе постоянного давления:
1 — теневое изображение отметки на заряде (рамка держателя)

тере горения (постоянная скорость распространения, наличие ускорения или пульсаций) и до некоторой степени о структуре пламени (наличие зон различной яркости, светящихся частиц и др.).

При постоянной скорости горения край изображения (см. рис. 19) представляет собой наклонную прямую. В этом случае для нахождения скорости достаточно определить время сгорания участка заряда, ограниченного метками (рамкой держателя). На снимке измеряют расстояние Δx (рис. 19), т. е. тот путь, который прошла пленка за время движения фронта пламени от верхней до нижней отметки на заряде. Следы, указывающие положение отметок, обычно отчетливо видны на фотографии. Зная число оборотов барабана в минуту n, длину его окружности $2\pi R$, величину Δx и расстояние между отметками на заряде l скорость горения легко найти по формуле

$$u = \frac{2\pi R n l}{60 \Delta x}.$$

Если горение протекало с переменной скоростью, то определяют скорости распространения на отдельных участках заряда по прямолинейным отрезкам полученного изображения или углу наклона касательных к различным точкам кривой, ограничивающей изображение.

Исследование горения ВВ при различных температурах

Для изучения горения при повышенном давлении и различных температурах бомбу снабжают специальным термостатом. Ниже описано устройство термостата для бомбы с рабочим давлением до 120 *кг/см*^{2}. Термостат (рис. 20) смонтирован на крышке бомбы и обеспечивает проведение опытов при температуре от комнатной до температуры вспышки исследуемого ВВ.

Заряд ВВ в бомбе нагревают и поддерживают в нем постоянную известную температуру с помощью массивного, хорошо изолированного медного блока, нагреваемого электрическим током. Температуру блока измеряют и контролируют двумя хромель-копелевыми термопарами и поддерживают постоянной с помощью автоматического электронного регулятора с регистрирующим устройством. Термостат имеет глубокий канал в центре для ввода заряда и две узкие прорези. При завернутой крышке прорези располагаются против окон бомбы. Прорези плотно закрыты стеклами для уменьшения теплопотерь за счет конвекции. Высота термостата, а также расположение нагревательных элементов обеспечивают практически постоянную температуру заряда по всей его длине.

Для измерения и регулирования температуры термостата служит автоматический электронный потенциометр ЭПВ-01 с цилиндрической шкалой и трехпозиционным автоматическим регулятором. Дополнительный контроль температуры осуществляют также при помощи переносного потенциометра.

Ток для нагревания термостата подают от сети через селеновый выпрямитель; напряжение на нагревательных элементах регулируют в зависимости от выбранной температуры автотрансформатором, включенным в цепь, питающую выпрямитель, и контролируют по

вольтметру. Ток для накаливания зажигательной спирали подается от сети через трансформатор.

Проведение опыта. Заряд ВВ или пороха, бронированный с боковой поверхности, плотно вставляют в короткую стеклянную трубочку так, чтобы нижняя часть заряда совпадала с обрезом стеклянной трубки и затем помещают в держатель. Сверху в держатель вставляют другую стеклянную трубку, которая изолирует зажигательную спираль от соприкосновения с медной оправкой.

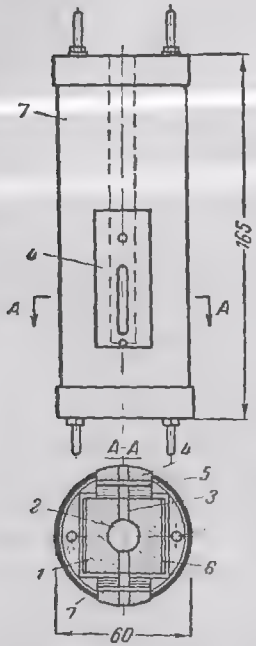

Рис. 20. Термостат для опытов по горению при постоянном давлении и повышенных температурах:

1 — блок из красной меди; *2* — цилиндрический канал, в который помещается держатель с зарядом; *3* — щелевидные прорези; *4* — рамка; *5* — стекло; *6* — нагревающая обмотка с изоляцией; *7* — кожух

Держатель с зарядом и трубкой помещают в термостат и вводят в трубку зажигательную спираль до соприкосновения с верхней поверхностью заряда. Концы зажигательной спирали присоединяют к контактам зажигания. Крышку бомбы со смонтированным на ней термостатом вводят в соответствующее гнездо в бомбе и завинчивают от руки до упора. Далее с помощью штепсельного разъема присоединяют обмотку термостата, спираль зажигания и термопары к соответствующим источникам тока и приборам. Включением внутреннего выключателя в приборе ЭПВ-01 на электронагревательные элементы термостата подают напряжение от выпрямителя. Регулятор температуры в приборе ЭПВ-01 должен быть установлен против заданной температуры. Температуру контролируют также по показанию на шкале переносного потенциометра. Сразу же после включения нагревания в бомбу и дополнительную емкость из баллона подают азот до требуемого давления. Время, необходимое для полного прогрева заряда до температуры термостата, как установлено специальными опытами, не превышает 20 *мин*. По истечении этого времени заряд может быть зажжен и процесс горения зарегистрирован визуально или на фотопленку. Ток на зажигательную спираль подают нажатием кнопки зажигания. После воспламенения заряда кнопка зажигания должна быть немедленно отпущена.

Меры предосторожности

При сжигании зарядов следует всегда учитывать возможность перехода горения во взрыв и ограждать экспериментатора и окружающих от поражения осколками. Техника безопасности при прессовании зарядов и работах с бомбами высокого давления регламентирована специальными инструкциями.

Работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ВВ И ПОРОХОВ В МАНОМЕТРИЧЕСКОЙ БОМБЕ

Сущность метода

Работа заключается в сжигании исследуемого заряда ВВ или пороха в так называемой манометрической бомбе — замкнутом сосуде малого объема, снабженном устройством для измерения давления и регистрации его изменения во времени. Горение в этих условиях идет

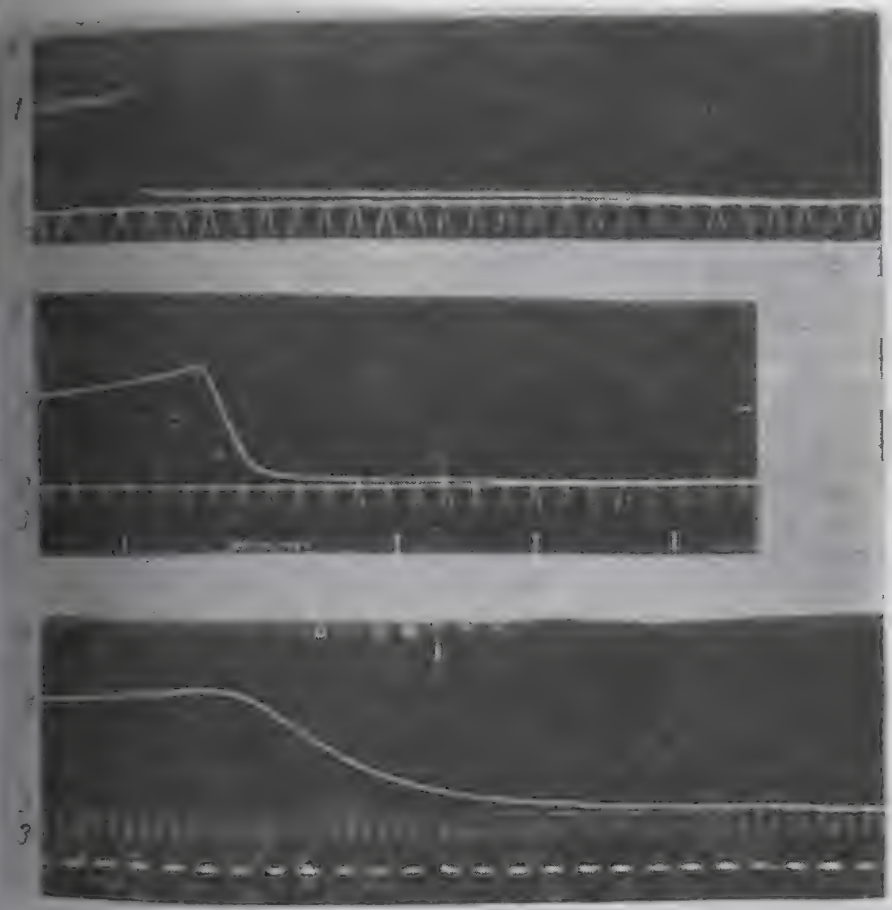

Рис. 21. Образцы осциллограмм, полученных при опытах в манометрической бомбе:

...йчивое послойное горение заряда зернового пороха: *а* — ускоряющееся горение пористого ВВ; *в* — горение заряда ВВ с переходом во взрыв; *1* — кривая изменения давления; ... линия кривой давления; *3* — синусоида стандартной частоты (500 *гц*), служащая ... шкалой времени (скорости развертки в опытах *а*, *б*, *в*, относятся как 1 : 1,85 : 2)

под давлением газообразных его продуктов, возрастающим за время опыта в сотни и тысячи раз. Изучение полученной кривой «давление—время» позволяет по скорости роста давления судить о скорости сгорания ВВ, а также о характере горения.

В случае порошкообразных или вообще пористых зарядов быстрый рост давления в манометрической бомбе благоприятствует проникновению горячих газов вглубь заряда и распространению горения по развитой его внутренней поверхности. В таких условиях возможен переход горения во взрыв (*Уч.* **IV**, 7, 178—180). Опыты в манометрической бомбе позволяют, в известной мере, количественно оценить опасность такого перехода для разных ВВ и различных значений параметров, характеризующих заряд (размер частиц, плотность, наличие открытых или закрытых пор, способность заряда разрушаться при горении и др.).

По максимальному значению давления и известной плотности заряжания[1], можно рассчитать удельную энергию ВВ, называемую обычно в случае порохов «силой» пороха. Если закон изменения фактической поверхности горения можно считать известным, как это имеет место, например, при сжигании порохов, то полученные кривые «давление — время» позволяют рассчитать зависимость скорости горения от давления и найти ряд характеристик пороха, необходимых при баллистических расчетах. (Подробнее см. в курсах внутренней баллистики.)

В современных манометрических бомбах применяют электрические методы измерения и регистрации давления с помощью проволочных сопротивлений (так называемые тензодатчики) или пьезокристаллов (пьезодатчики). В данном практикуме применен первый из этих методов. Образцы разных типов осциллограмм изменения давления в бомбе показаны на рис. 21.

Устройство манометрической бомбы и регистрирующей системы

Основными частями установки являются: манометрическая бомба с проволочным датчиком сопротивления, тензометрическая станция и магнитоэлектрический (шлейфовый) осциллограф.

а) Манометрическая бомба и тензометрический датчик

Бомба (рис. 22) представляет собой толстостенную стальную трубу с двумя крышками. Герметизация обеих крышек осуществлена с помощью стальных и резиновых колец, образующих систему, самоуплотняющуюся под действием внутреннего давления. В одной из крышек смонтирован изолированный электроввод. При выполнении опыта к внутреннему концу электроввода присоединяют тонкую проволочку, второй конец которой через ввинченный в крышку штифт соединяют с корпусом бомбы. Для накаливания проволочки, вызывающей горение воспламенителя, на изолированный ввод и корпус бомбы подают в нужный момент напряжение 12 *в* от трансформатора.

Во второй крышке бомбы смонтировано устройство, трансформирующее изменение давления в бомбе в электрические сигналы, регистрируемые в дальнейшем осциллографом. Под действием давления, возникающего в полости бомбы, мембрана упруго деформируется. К

[1] Плотностью заряжания называется отношение массы заряда ВВ или пороха к объему сосуда, в котором он заключен.

мембране прижат корпус датчика давления, представляющий собой стальную трубку с двумя грибообразными головками. На поверхность средней цилиндрической части этой детали прочно наклеено специальное проволочное сопротивление—так называемый тензодатчик. Перемещение мембраны вызывает деформацию корпуса датчика, и наклеенная на нем проволочка сжимается или растягивается, что изменяет ее сопротивление. Эта проволочка является одним из четырех сопротивлений, соединенных по схеме моста. Второе плечо моста представляет собой такой же проволочный датчик, но наклеенный на трубку так, что направление проволочек перпендикулярно к направлению деформации трубки и изменение давления в бомбе не влияет на его сопротивление. Этот датчик служит для компенсации температурных изменений сопротивления рабочего датчика. Последние два плеча моста образованы переменными сопротивлениями, встроенными в тензометрическую станцию. Перед началом опыта мост балансируют так, чтобы на концах измерительной диагонали напряжение отсутствовало. Когда, вследствие изменения давления в бомбе, сопротивление рабочего датчика изменяется, баланс моста нарушается и на измерительной диагонали возникает разность потенциалов, которую усиливают и регистрируют. Изменение разности потенциалов в диагонали моста пропорционально изменению давления в бомбе.

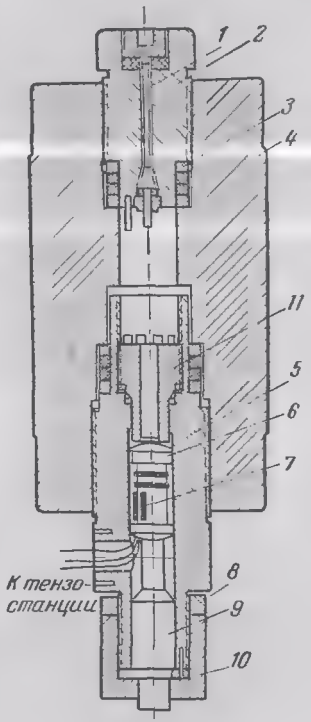

Рис. 22. Манометрическая бомба:

1 — изолированный электроввод; *2* — крышка; *3* — уплотнение; *4* — корпус бомбы; *5* — крышка с тензометрическим датчиком; *6* — корпус датчика; *7* — проволочное сопротивление; *8* — контргайка; *9* — упор; *10* — гайка для регулирования предварительной деформации датчика и мембраны; *11* — колпачок-мембрана

Применение чувствительной электрической схемы позволяет фиксировать очень малые деформации. Соответственно, механические элементы системы регистрации обладают высокой собственной частотой колебаний, что позволяет без искажений регистрировать сравнительно быстрые изменения давления.

б) Регистрирующая система[1]

Преобразование механических деформаций тензодатчиков в электрические сигналы и усиление последних производится с помощью

[1] Устройство и действие узлов регистрирующей системы изложены в данном руководстве кратко. Более подробно об устройстве и правилах эксплуатации тензостанции и осциллографа см. в приложенных к этим приборам заводских инструкциях.

стандартной тензометрической станции УТС-1-ВТ-12. При работе манометрической бомбой используют один из 12 входящих в эту станцию тождественных блоков[1]. Внешний вид одного из блоков (вынут из корпуса) показан на рис. 23. Блок-схема регистрирующей системы, поясняющая принцип ее работы, приведена на рис. 24. Входящий в тензостанцию специальный генератор вырабатывает синусоидальное

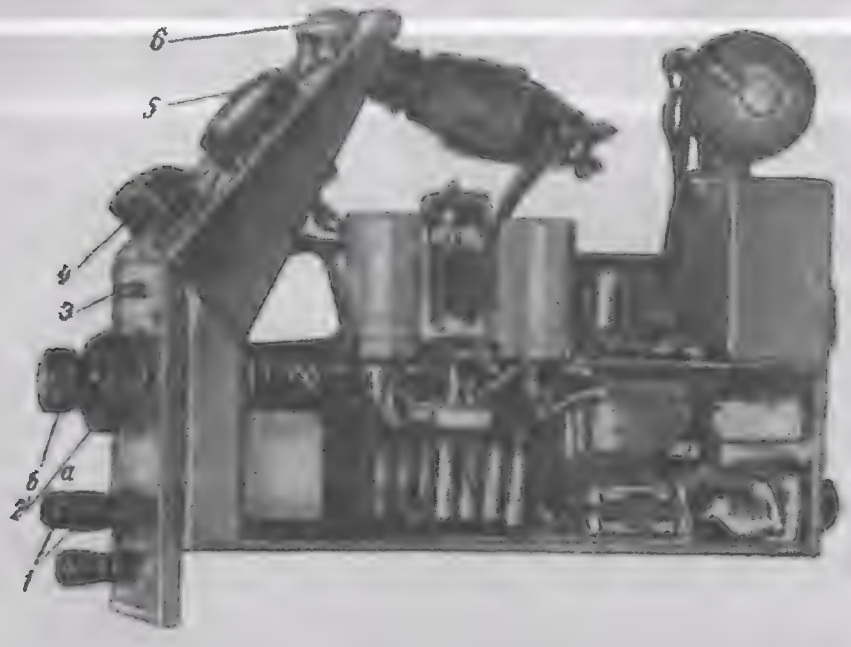

Рис. 23. Внешний вид одного из блоков тензостанции:
1— клеммы для присоединения выносных плеч моста; *2а* — ручка регулировки омического баланса моста; *2б* — ручка регулировки емкостного баланса; *3* — переключатель контроля чувствительности; *4* — ручка регулятора чувствительности; *5* — миллиамперметр (стрелочный индикатор балансировки моста); *6* — оптический индикатор балансировки моста

напряжение с частотой 35 *кгц* (так называемая несущая частота установки), используемое для питания измерительного моста. Изменение сопротивления рабочего плеча моста вызывает амплитудную модуляцию несущей частоты. Иначе говоря, изменение электрического сопротивления рабочего датчика во времени вызывает в измерительной диагонали моста такое изменение амплитуд отдельных периодов несущей частоты, что форма огибающей этих колебаний соответствует форме кривой «сопротивление датчика — время». Переменное напря-

[1] Очевидно, что для регистрации одного процесса многоканальные тензостанция и осциллограф не нужны. Эти приборы, однако, являются наиболее доступными стандартными устройствами универсального назначения, чем и обусловлен их выбор. При наличии других приборов они могут быть заменены ими.

жение, возникающее в измерительной диагонали моста, поступает на вход трехкаскадного усилителя. Усиленный сигнал датчика выделяется в специальном устройстве (так называемый демодулятор) и поступает на шлейф осциллографа для регистрации.

Максимальная скорость изменения давления, при которой оно может еще быть измерено с достаточной точностью, зависит от частоты собственных колебаний механических элементов системы регистрации и несущей частоты, используемой для питания моста. Обычно считают, что при амплитудной модуляции можно без существенных искажений регистрировать процесс, в котором наименьший период составляет не менее 5 пернодов несущей частоты. Данная установка с несущей частотой в 35 *кгц* обеспечивает регистрацию без искажений процессов, протекающих с частотой до 7 *кгц*.

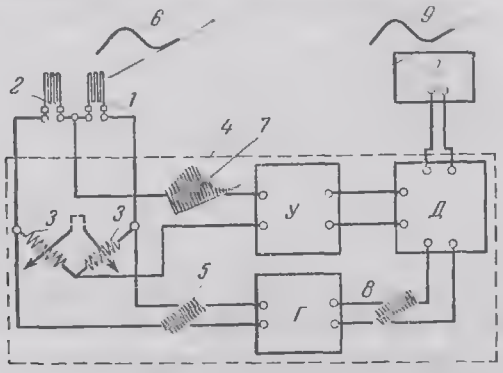

Рис. 24. Блок-схема регистрирующей системы:
1 — рабочий тензометрический датчик; *2* — компенсирующий датчик; *3* — переменные сопротивления моста; *4* — тензостанция; *5* — форма кривой тока питания моста; *6* — форма кривой изменения сопротивления датчика (кривая давления); *7* — форма кривой тока в измерительной диагонали моста; *8* — форма кривой фазирующего тока несущей частоты; *9* — форма кривой, записанной на осциллограмме: *У* — усилитель; *Г* — генератор несущей частоты; *Д* — демодулятор; *О* — осциллограф

Следующим за тензостанцией узлом системы регистрации является магнитоэлектрический (шлейфовый) осциллограф типа МПО-2.

Основным элементом осциллографа является зеркальный гальванометр-вибратор, в котором токоведущая рамка подвешена между полюсами постоянного магнита. На токоведущую рамку наклеено зеркало. При прохождении тока по рамке она поворачивается вместе с зеркалом на определенный угол; соответственно отклоняется падающий на зеркало луч света. Отклонение зеркала, а следовательно и луча, пропорционально силе тока, проходящего через гальванометр. Отраженный зеркалом луч после прохождения через систему линз фокусируется на пленку, движущуюся в момент проведения опыта с определенной скоростью. Светочувствительная эмульсия пленки засвечивается движущимся лучом, и на ней после проявления возникает кривая изменения тока (напряжения) во времени.

При работе с манометрической бомбой используют один из вибраторов осциллографа. Для получения масштаба времени на пленке одновременно с исследуемым процессом фиксируют сигналы специального вибратора-отметчика, подвижная часть которого совершает колебания с постоянной и точно известной частотой 500 *гц* (период 2 *мсек*).

Собственная частота колебаний вибратора, применяемого для регистрации, определяет максимальную скорость нарастания сигнала, которая еще может быть записана без искажения. Так же, как и в тензостанции, максимальная частота фиксируемого процесса не должна превышать 20% от частоты собственных колебаний вибратора. Обычно вибраторы, имеющие большую частоту собственных колебаний, менее чувствительны и выбор вибратора для работы производят с учетом обеих характеристик.

Подготовка и проведение опыта

Для подготовки и проведения опыта нужно последовательно провести ряд операций, перечисляемых в порядке их выполнения:

а) подготовка к работе и настройка измерительного моста одного из блоков тензостанции;

б) подготовка осциллографа к съемке;

в) тарирование датчика и регистрирующей системы;

г) подготовка заряда и бомбы;

д) проведение сжигания;

е) демонтаж и очистка бомбы;

ж) обработка пленки для получения осциллограммы.

Краткое содержание перечисленных операций изложено ниже.

а) Подготовка к работе и настройка измерительного моста одного из блоков тензостанции

Настройка тензостанции заключается в балансировании измерительного моста и установке регулятора усиления согласно ожидаемой величине сигналов от рабочего датчика. Перед тем как начать настройку включают питание станции УТС-1-ВТ-12 и выжидают 15—20 *мин*, чтобы вся аппаратура прогрелась до условий стационарного режима работы. Крышку бомбы с вмонтированным в нее датчиком соединяют с помощью специального шнура со штепсельным разъемом с одним из блоков станции. Устанавливают минимальное усиление (ручку регулятора усиления поворачивают по часовой стрелке на небольшой угол из крайнего левого положения). Вращают ручку регулировки емкостного баланса (*2б* на рис. 23) до получения возможно большего раскрытия сектора оптического индикатора настройки, а затем повторяют ту же операцию с ручкой регулировки омического баланса (*2 а*). Если при этом не получается полного раскрытия «глазка», то действуют попеременно обеими ручками баланса до получения наиболее четкого контура границ несветящегося сектора. Далее устанавливают рабочий

коэффициент усиления, т. е. ставят ручку регулятора усиления в то положение, в котором она будет находиться при опыте, и вторично балансируют мост по оптическому индикатору настройки. Получив точный баланс по «глазку» оптического индикатора, ручкой регулировки омического баланса устанавливают стрелку индикаторного прибора на нулевое (среднее) деление шкалы, после чего настройку можно считать законченной.

б) Подготовка осциллографа к съемке

Для подготовки осциллографа необходимо: присоединить выход усилителя тензостанции к соответствующему вибратору, включить питание осциллографа, установить (по матовому экрану) световые лучи рабочего вибратора и отметчика времени в положение, удобное для последующей съемки, выбрать и установить скорость записи (скорость транспортирования пленки), длину кадра, ширину диафрагмы и накал ламп, а также зарядить пленку в кассету осциллографа. Техника выполнения этих операций описана в заводской инструкции к осциллографу.

Скорость записи и длину кадра следует подобрать опытным путем в зависимости от ожидаемой скорости изменения давления в манометрической бомбе и продолжительности горения. При тарировке желательно применять ту же скорость записи, что и при опытах, а длину кадра можно брать минимальной (3—4 *см*).

Ширину щели диафрагмы и напряжение накала лампы выбирают на основе опыта работы в зависимости от скорости записи, чувствительности пленки и быстроты изменения давления в данном опыте. Чем меньше ширина диафрагмы, тем более четкой получается кривая, однако участки кривой с наибольшей скоростью изменения давления могут, при малой ширине диафрагмы, быть засвечены недостаточно. Чем больше скорость записи и чем меньше чувствительность пленки, тем больше нужны накал лампы и ширина диафрагмы. Напряженне накала лампы регулируют реостатом и контролируют по вольтметру; оно не должно превышать 6 вольт.

в) Тарировка датчика и регулирующей системы

Для обработки полученных осциллограмм нужно знать масштаб записи, т. е. коэффициент пропорциональности между величиной давления в бомбе и отклонением луча, отраженного вибратором, на пленке. Этот коэффициент зависит от многих факторов (механических характеристик датчика, степени натяга нажимной гайки, коэффициента усиления тензостанции, чувствительности примененного вибратора и др.). Практически масштаб записи определяют тарированием всей системы путем приложения к датчику известных статических давлений с помощью масляного пресса. Для тарировки крышку бомбы с тензодатчиком ввертывают в штуцер масляного пресса. Создав с помощью пресса давление на датчик, близкое к максимальному ожидаемому при опыте, подбирают предварительно коэффициент усиления тензостанции так, чтобы отклонение луча при максимальном давлении умеща-

лось на пленке. Далее, разбивают весь ожидаемый интервал изменения давления на 3—5 частей и, устанавливая необходимые давления по манометру пресса, производят записи отклонений вибратора осциллографа на пленку. До и после тарирования включением тумблера контроля чувствительности (*3* на рис. 23) определяют коэффициент усиления станции, чтобы в дальнейшем проводить опыт при том же коэффициенте усиления, что и тарировку. После проявления пленки, обмером записи, полученной при тарировании, находят коэффициент пропорциональности (в *кг/см*²: *мм* отклонения на пленке), который используют затем для обработки опытных кривых.

г) Подготовка заряда и бомбы

Величину заряда для сжигания выбирают в зависимости от задачи проводимого исследования. Наибольшая величина заряда, какую еще можно применить, зависит от объема бомбы и допустимого, по соображениям прочности, максимального давления[1]. Если известны допустимое давление, состав и теплота горения исследуемого ВВ или пороха, можно предварительно рассчитать (см. *Уч.*, VIII, *3*, 436—442) приближенное значение максимальной плотности заряжания и, зная объем бомбы, найти максимальный вес заряда. Объем бомбы измеряют при монтаже, заполняя ее полость водой или другой жидкостью.

Заряды порохов для испытания в манометрической бомбе готовят либо в виде ряда зерен одинаковой формы и размеров, либо в виде одной сплошной шашки. В последнем случае удобно применять цилиндрическую шашку пороха, бронированную по боковой поверхности так, что горение может идти только с одного торца. В этом случае поверхность горения остается постоянной в течение всего опыта и расчет зависимости скорости горения от давления упрощается. Шашку бронируют, как описано в работе 5.

При исследовании горения порошкообразных ВВ, заряд прессуют в пластмассовый, например из оргстекла, или металлический стаканчик. Стаканчик позволяет придать заряду определенную форму, кроме того, облегчается оценка характера процесса по дроблению оболочки. Особенно важно достижение одинаковой плотности по всей длине заряда. Изменение плотности или, точнее, связанной с нею газопроницаемости, влияет на проникновение горячих газов внутрь заряда и в связи с этим на склонность горения к переходу во взрыв. Рекомендуется отметками на прозрачной стенке разделить по высоте трубку на несколько отрезков, длина каждого из которых не более внутреннего диаметра трубки. Объем каждого из отрезков измеряют или вычисляют и готовят навески ВВ, необходимые для получения нужной плотности. Каждую навеску подпрессовывают деревянным пуансоном так, чтобы она точно помещалась между отметками на трубке. В случае зарядов высокой плотности отдельные навески последовательно прессуют с помощью гидравлического пресса.

[1] Для каждой отдельной бомбы максимальное допустимое давление должно быть указано в инструкции по технике безопасности. Конструкция, типа показанной на рис. 22, позволяет работать при давлении до 3000 *кг/см*².

Крышку бомбы с датчиком вывертывают из штуцера масляного пресса и ввертывают в корпус манометрической бомбы. Бомбу устанавливают этой крышкой вниз и помещают в нее стаканчик с исследуемым зарядом.

Для зажигания заряда обычно применяют воспламенитель из черного пороха весом 0,5 *г* в мешочке из специальной ткани или завернутый в папиросную бумагу (применение других воспламенителей или изменение навески черного пороха делается по указанию преподавателя). Сквозь воспламенитель пропускают отрезок тонкой медной проволоки длиной 7—8 *см*. Концы проволоки присоединяют к электровводу (*1* на рис. 22) и штифту, введенному в крышку. Крышку с подвешенным к ней воспламенителем, ввертывают до отказа в корпус бомбы.

По окончании подготовки бомбы вновь проверяют балансировку измерительного моста и соответствие коэффициента усиления выбранному при тарировке.

Контакты, связанные с изолированным вводом и корпусом бомбы, включают в цепь зажигания, состоящую из трансформатора и реле времени. Наличие в цепи реле времени позволяет синхронизировать начало записи с началом процесса, что особенно важно для получения записи с большой скоростью на кадрах небольшой длины. Обычно при больших скоростях транспортирования пленки реле включают таким образом, что в начале замыкается цепь воспламенителя, а потом цепь дистанционного пуска осциллографа МПО-2. При малых скоростях съемки поступают наоборот.

д) Проведение опыта

После завершения подготовительных операций включают в сеть первичную обмотку трансформатора цепи зажигания и пускают мотор осциллографа. Все находящиеся в комнате выходят из нее, и цепь зажигания с помощью специального включателя замыкают из-за капитальной стены. Нагрев проволочки в воспламенителе вызывает горение черного пороха, которое, в свою очередь, поджигает исследуемый заряд. С заданной выдержкой времени до или после включения накала воспламенителя реле замыкает цепь дистанционного пуска осциллографа, включается муфта, соединяющая мотор с механизмом протягивания пленки, и начинается запись. После транспортирования отрезка пленки заданной длины съемка автоматически прекращается.

Для извлечения приемной кассеты с экспонированной пленкой необходимо отодвинуть задвижку и нажать на рычаг, находящийся на панели МПО-2 возле кассеты. При этом экспонированная часть пленки будет отрезана и кассету можно извлечь из осциллографа. Проявление, фиксирование, промывку и сушку пленки производят обычными способами.

е) Демонтаж и очистка бомбы

По окончании опыта газы, находящиеся в бомбе, с помощью вентиля выпускают через резиновый шланг в трубу вытяжной вентиляции. Когда давление в бомбе снизится до атмосферного, вывинчивают

обе крышки, промывают и протирают насухо внутренние полости бомбы и крышек, после чего готовят систему к следующему опыту.

ж) Обработка результатов опыта

Изучение и обмер осциллограмм производят с помощью увеличителя П-10, дающего пятикратное увеличение[1]. Вначале обрабатывают осциллограммы, полученные при тарировании; измеряют для каждой из них отклонение луча от нулевого положения, получая таким образом коэффициент пропорциональности между отклонением луча (в *мм* на экране увеличителя) и соответствующим ему давлением. Кривую записи горения разбивают на несколько (желательно не менее 5) равных отрезков по времени и измеряют соответствующие им ординаты. Для определения масштаба времени измеряют на экране длину отрезка, на котором умещается 5—10 периодов отметчика времени. Умножением коэффициента пропорциональности на длину соответствующей ординаты рассчитывают давление газов в каждый выбранный момент. Таким образом, получают численную зависимость $p=p(\tau)$, которую затем выражают графиком. По таблице или графику можно рассчитать зависимость скорости горения от давления и другие характеристики порохов. Методика таких расчетов описана в курсах внутренней баллистики. При переходе горения во взрыв устанавливают по кривой $p=p(\tau)$ давление перехода и время от момента воспламенения до взрыва; интенсивность взрыва оценивают по характеру дробления оболочки заряда.

Меры предосторожности

1. Для каждой бомбы, применяемой в лаборатории, должно быть установлено максимальное давление. Навеску для каждого опыта выбирают таким образом, чтобы расчетное давление не превышало максимально допустимого. Расчет должен быть проверен преподавателем перед началом каждого опыта.

2. Включение в сеть трансформатора, питающего цепь зажигания, должно производиться специальным двухполюсным выключателем, который можно повернуть только ключом. При вынимании ключа должны автоматически размыкаться оба полюса. Во все время подготовки опыта ключ должен находиться у лица, заряжающего бомбу.

3. Зажигание производить из-за капитальной стены, замыкая цепь с помощью специального фигурного замыкателя. Все находившиеся в комнате до этого должны ее покинуть.

4. Сразу же после сжигания должен быть разомкнут замыкатель и вынут ключ из выключателя сети. Продукты горения выпускают через вентиль в трубу вытяжной вентиляции.

5. В случае отказа разряжать бомбу следует не ранее чем через 15 *мин*.

---

[1] Устройство увеличителя и правила работы с ним см в заводском описании. Можно применять и другие типы увеличителей.

Работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ВВ ПОД ВОЗРАСТАЮЩИМ ДАВЛЕНИЕМ В ТРУБКАХ С МЕМБРАНОЙ

Сущность метода

Для сравнительной оценки способности различных ВВ к переходу горения во взрыв сжигают исследуемые заряды в замкнутом объеме, в котором горение происходит под возрастающим давлением. Стальной сосуд (трубка), в котором сгорает заряд, имеет очко, закрываемое мембраной из свинца, стали или другого материала. Когда давление

Рис. 25. Характерные случаи деформации трубки после опыта:
а — взрыв, средние и крупные осколки; *б* — детонация, большое число мелких осколков; *в* — быстрое горение — трубка цела, но деформирована

внутри трубки достигнет некоторого предела, соответствующего прочности примененной мембраны, последняя будет срезана, и газообразные продукты горения начнут выходить наружу. Дальнейшее течение процесса зависит от скорости взрывчатого превращения исследуемого заряда, т. е. от скорости газообразования. Если она мала, то продукты горения будут успевать выходить в образовавшееся очко, давление в трубке упадет и горение, в зависимости от свойств ВВ, либо затухнет, либо дойдет до конца. Когда скорость газообразования велика, давление внутри трубки нарастает так быстро, что, несмотря на наличие ослабленного сечения (мембраны), происходит взрыв.

Если проводить таким образом опыты с одинаковыми зарядами одного и того же ВВ, увеличивая постепенно сопротивление мембраны, то, начиная с некоторого сопротивления, возможен переход горения во взрыв, при котором трубка будет деформирована (раздута, разорвана на несколько частей, раздроблена на более или менее крупные осколки). Минимальное давление среза мембраны, при котором это

происходит, а также характер дробления трубки являются мерой склонности горения данного заряда ВВ к переходу во взрыв.

На рис. 25 показаны некоторые характерные случаи деформации трубки.

Устройство трубки

Опыты проводят в стальных бесшовных трубках (см. схему на рис. 26), снабженных двумя резьбовыми крышками. В одной из крышек (на схеме — верхней) имеется очко диаметром 30 *мм*, закрываемое при опыте тарированной мембраной из листового свинца или другого материала. Во второй крышке (нижней) — отверстие диаметром 3 *мм* для проводов системы зажигания. Часть объема трубки, примыкающую к нижней крышке, заливают гипсом, а исследуемый заряд ВВ помещают поверх слоя гипса. Изменяя высоту слоя гипса, можно менять свободный объем трубки, а следовательно, при постоянной величине заряда — плотность заряжания[1]. Чем больше плотность заряжания, тем большее давление будет достигнуто в трубке при сгорании одного и того же количества ВВ.

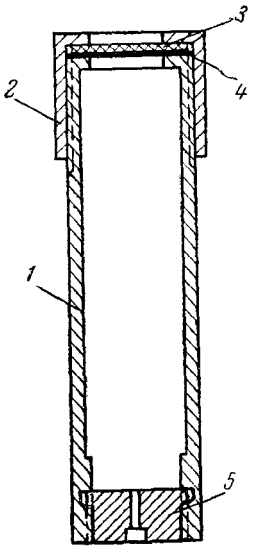

Рис. 26. Схема трубки с мембраной:
1 — корпус трубки, *2* — крышка; *3* — мембрана; *4* — асбестовая прокладка; *5* — днище (пробка)

Воспламенение производят шашкой пиротехнического состава, которую зажигают, пропуская электрический ток по проволочке, впрессованной в шашку при ее изготовлении. Поскольку характеристики воспламенителя могут влиять на горение основного заряда ВВ, для получения сравнимых результатов во всех опытах применяют одинаковые размеры воспламенительных шашек (вес 2 *г*, диаметр 20 *мм*), постоянный состав воспламенительной смеси (магниевая пудра 20%, нитрат калия 68%, идитол 12%) и постоянное давление прессования шашки (450—500 *кг/см*^{2}).

Выполнение работы

Работа состоит из следующих основных операций:

а) тарировка мембран,

б) подготовка и снаряжение трубки,

в) сжигание заряда и сбор осколков.

---

[1] Напомним, что плотностью заряжания называют отношение веса заряда ко всему объему камеры (трубки). Это понятие не следует путать с понятием «плотность заряда». Кубической плотностью заряда (для краткости просто плотностью заряда) называют отношение веса заряда к занимаемому им объему.

а) Тарировка мембран

Заготавливают несколько партий мембран, каждая из которых изготовляется из одинакового материала и по одинаковой технологии. Толщину всех мембран измеряют микрометром и отбирают для работы мембраны, толщина которых колеблется в пределах не более ± 0,1 *мм*. От партии одинаковых мембран отбирают 2—3 штуки для тарировки. Давление среза мембраны определяют следующим образом: снаряжают трубку, как описано ниже, зарядом пироксилинового пороха, способного гореть параллельными слоями без перехода горения во взрыв во всем интервале давлений вплоть до давления разрыва трубки. Давление среза мембраны зависит, в определенных пределах, от скорости газообразования, которая, в свою очередь, зависит от толщины горящего свода применяемого пороха. Для получения сравнимых результатов все мембраны тарируют сжиганием пироксилинового пороха одной и той же марки — 9/7 (семиканальные зерна с толщиной горящего свода 0,9 *мм*). Для тарировки свинцовой мембраны толщиной 5 *мм* необходимо взять около 5 *г* пороха, а для мембраны толщиной 10 *мм* —около 10 *г*.

Одновременно с порохом внутрь трубки помещают вкладной крешерный прибор с поршнем площадью 0,5 $см^2$ и коническим крешером размерами 5×8,1 *мм*. Устройство крешерного прибора и его размещение в трубке при тарировке показаны на схеме (рис. 27). Перед сборкой высоту крешера измеряют микрометром с точностью до 0,01 *мм*.

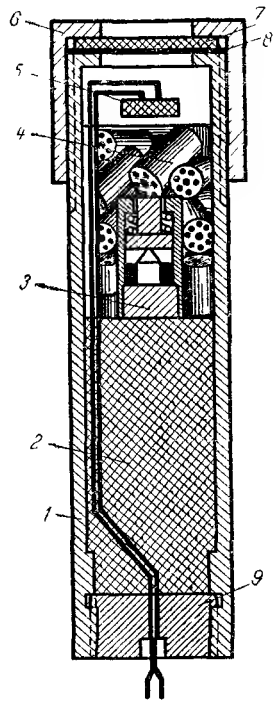

Рис. 27. Схема снаряжения трубки для тарировки мембраны:

1 — трубка; *2* — слой гипса; *3* — крешерный прибор; *4* — порох; *5* — воспламенитель; 6 — крышка; *7* — мембрана; *8* — асбестовая прокладка. *9* — днище (пробка)

Крешерный прибор представляет собой покрытый медной оболочкой стальной цилиндр, имеющий с одной стороны крышку на резьбе, а с другой—цилиндрический канал, в котором ходит точно пришлифованный поршень. Для сборки крешерного прибора необходимо отвинтить крышку, смазать поршень специальной мастикой, вставить внутрь измеренный крешерный столбик с резиновым кольцом для центрирования и завинтить крышку. Крышку и поршень следует обмазать густой мастикой для предохранения от проникновения газов горения.

Подготовленную трубку помещают в бронекамеру (бронеяму) и производят сжигание пороха, как описано ниже (см. пункты «б» и «в»). Максимальное давление, создавшееся в трубке при сжигании пороха, оценивают по обжатию крешера и принимают за давление среза мембраны. Давление определяют по таражным таблицам для данной партии крешеров, измерив микрометром высоту крешера после опыта.

б) Подготовка и снаряжение трубки

Стальные трубки имеют в нижней крышке отверстие для электропроводов. Перед заливкой гипсом два отрезка провода длиной по 30 *см* в водонепроницаемой оболочке вводят внутрь трубки так, чтобы концы их выступали на 5 *см* над верхним краем трубки. После этого трубку заливают гипсом (на 1,7 вес. частей гипса 1 вес. часть воды). Количество заливаемого гипса подбирают в зависимости от заданных величин навески ВВ и плотности заряжания. Слой гипса должен, однако, иметь высоту не менее, чем внутренний диаметр трубки (обычно 35—40 *мм*). Высоту свободного пространства от уровня затвердевшего гипса (через 24 часа после заливки) измеряют штангенциркулем для точного вычисления в дальнейшем плотности заряжания.

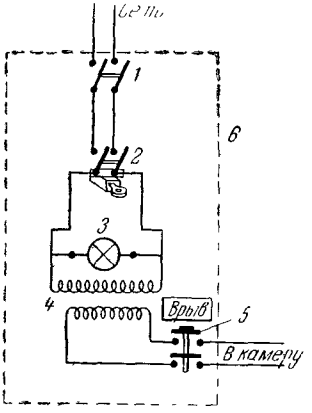

Рис. 28. Схема щита для воспламенения зарядов в трубках с мембраной:
1 — рубильник; *2* — выключатель с замком; *3* — сигнальная лампа; *4* — трансформатор 220/12 *в*; 5 — кнопка с возвратной пружиной; *6* — кожух щита (крышку кожуха нельзя закрыть, если рубильник *1* включен)

Трубку зажимают в тиски в вертикальном положении и приступают к снаряжению ее исследуемым ВВ. Навеску ВВ (обычно 50 *г*) насыпают в трубку отдельными порциями, каждую из которых уплотняют деревянным пуансоном до заданной плотности. После заряжания высоту свободного пространства трубки измеряют штангенциркулем. По разности высот свободного пространства до и после заряжания можно вычислить высоту и объем заряда, а следовательно, и плотность его. Если необходимо испытать заряды высокой плотности, то шашку ВВ готовят прессованием на гидравлическом прессе в соответствующей пресс-форме.

Поверх заряда ВВ помещают зажигательную шашку с впрессованной в нее нитью накаливания, концы которой аккуратно прикручивают к оголенным концам проводов, находящихся в трубке. Противоположные концы проводов перед снаряжением закорачивают. Очко трубки закрывают куском асбеста толщиною 1 *мм* для смягчения термического действия продуктов горения на мембрану, а затем мембраной заранее выбранной толщины. По указанию преподавателя применяют мембраны из свинца, алюминия или стали.

Резьбу головки и трубки смазывают густым маслом и навинчивают головку сначала рукой, а потом затягивают ключом плавно, без рывков и достаточно туго.

в) Сжигание заряда

Снаряженную трубку перемещают только в вертикальном положении. В таком же положении ее подвешивают в защитной стальной трубе в бронекамере. Концы электропроводов присоединяют к специальным клеммам и закрывают двери камеры. Ток для воспламенения включают с помощью специального щита, схема которого показана на рис. 28. Щит заключен в кожух, крышку которого нельзя закрыть, если рубильник (*1* на рис. 28) включен. Когда дверь бронекамеры закрыта, отпирают кожух щита, включают рубильник и, вставив ключ, поворачивают выключатель; при этом должна загореться сигнальная лампа. Затем нажимают кнопку «взрыв» и держат ее до момента взрыва или воспламенения. После опыта, если трубка была разорвана, нужно собрать осколки, взвесить и сосчитать количество крупных, средних и мелких осколков (условно принято считать осколки более 40 *г* крупными, 40—10 *г* — средними, менее 10 *г* — мелкими).

Меры предосторожности

1. В качестве источника тока для воспламенения разрешается применять только специальный щит. Прежде чем вносить трубку в бронекамеру, нужно удостовериться, что кожух щита закрыт и заперт на замок.
2. Лицо, ведущее работу, обязано специальный ключ от щита иметь при себе во время всех операций в бронекамере.
3. Если после нажатия кнопки в течение 10 *сек* взрыва или воспламенения не произошло, следует повернуть ключ, вынуть его, выключить рубильник и запереть кожух щита; входить в бронекамеру ранее чем через 30 *мин* не разрешается.
4. Последнюю часть работы — сжигание заряда — студенты проводят только в присутствии преподавателя.

Глава III

ДЕТОНАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

(*Уч.* IV, *9—12*, 193—262; VI, *1—6*; 338—367)

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Все работы, описываемые ниже, связаны с выполнением взрывов зарядов ВВ разной величины. Взрывы производят только в приспособленном для этого помещении (бронекамера, бронеяма) на специально отведенной огражденной площадке или в прочных стальных сосудах, установленных в рабочем помещении, соблюдая требования специальной инструкции по технике безопасности.

Работа 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ДЕТОНАЦИИ ВВ

Сущность метода

Детонация может устойчиво распространяться по заряду ВВ без оболочки только в том случае, если наименьший размер этого заряда больше некоторого критического значения. Для обычно применяемых удлиненных цилиндрических зарядов критическим размером является диаметр. Наименьший диаметр заряда, при котором еще возможна в данных условиях устойчивая детонация, называют критическим диаметром.

Согласно принципу Харитона (*Уч.* IV, *12*, 257—262), величина критического диаметра является мерилом взрывчатости исследуемой системы в данных условиях. Критический диаметр определяется по Харитону соотношением между временем протекания химической реакции в слое ВВ, сжатом ударной волной, и временем разброса этого слоя.

Методика определения

Определение критического диаметра сводится к нахождению наименьшего диаметра заряда, при котором еще возможна устойчивая детонация. Остальные параметры заряда во всех опытах должны сохра-

няться постоянными (размер частиц порошка, плотность, оболочка и др.). Необходимо также следить за тем, чтобы затухание детонации было связано именно с достижением критических размеров, т. е. с неспособностью системы к распространению детонации, а не с применением слабого инициатора. Стандартный капсюль-детонатор № 8 может обеспечить детонацию порошкообразных ВВ только в том случае, если их критический диаметр ($d_{кр}$) не более 15—20 *мм*, и литых ВВ, если $d_{кр}<5$—10 *мм*, в противном случае необходим промежуточный детонатор.

В случае некоторых ВВ, особенно при малых плотностях заряда, затухание детонации может наблюдаться и при применении слишком мощного инициатора. Для надежного определения критического диаметра в цилиндрическом заряде рекомендуется применять «нормальное инициирование», заключающееся в том, что детонатором для исследуемого заряда является заряд того же самого ВВ, имеющий диаметр больше критического (см. ниже, рис. 30).

Определение критического диаметра детонации может быть выполнено двумя методами: путем взрыва конического заряда или взрывами серии цилиндрических зарядов различного диаметра.

В обоих случаях, если не поставлена специально задача изучения влияния оболочки, заряды взрывают в легких непрочных оболочках (бумага, калька, целлофан). Влиянием массы и прочности такой оболочки на возможность распространения детонации в большинстве случаев можно пренебречь.

а) Метод конического заряда

В случае зарядов порошкообразных ВВ при плотности, близкой к насыпной, из бумаги, кальки, целлофана и т. п. склеивают оболочки в виде конуса. Для склеивания используют деревянные, металлические или пластмассовые конуса соответствующих размеров. Для предварительного ориентировочного определения применяют конусы с большим углом (8—12°), для точного определения — с углом при вершине 2—4°. Пустую оболочку взвешивают и делают на ней ряд отметок, делящих полезный объем оболочки на примерно равные части. Объем каждой части измеряют, заполняя конус водой из бюретки или сухим песком, с последующим взвешиванием. Соответственно объему каждой части и заданной плотности, берут ряд навесок ВВ, каждую из которых уплотняют встряхиванием или с помощью деревянных пуансонов так, чтобы она заняла точно объем между двумя смежными отметками. Готовый заряд с оболочкой взвешивают и рассчитывают среднюю плотность всего заряда.

Если необходимо определить критической диаметр при высокой плотности ВВ, то приготовить конический заряд трудно. В таких случаях можно применить ступенчатый заряд, составленный из ряда прессованных или литых цилиндрических шашек, постепенно уменьшающихся диаметров. Разность диаметров двух смежных шашек зависит от требуемой точности определения. Длина каждой «ступени» такого

заряда должна быть не менее 5 (для точных работ не менее 10) его диаметров. В зависимости от свойств изучаемого ВВ отдельные шашки ступенчатого заряда можно соединять склеиванием или с помощью подходящей оболочки (бумага, тонкая резиновая трубка, изоляционная лента и т. п.).

В случае жидких ВВ в качестве оболочки для конических зарядов применяют тонкостенную стеклянную трубку соответствующей формы.

Конический заряд порошкообразного или пластичного ВВ накрывают со стороны бóльшего диаметра картонным кружком с отверстием

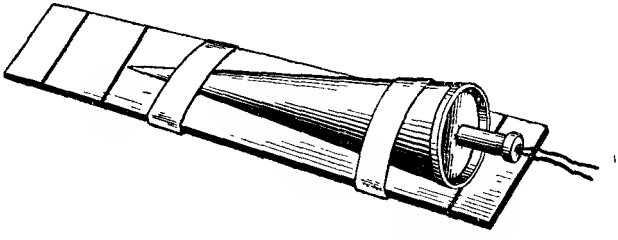

Рис. 29. Конический заряд для определения критического диаметра детонации

диаметром 7,5—8 *мм* в центре, после чего подходящей деревянной палочкой или специальным пуансоном в заряде делают углубление такого же диаметра для электродетонатора. При испытании жидких ВВ корковую или резиновую пробку соответствующего размера с центральным отверстием диаметром 7—8 *мм* вставляют в широкий конец стеклянного конуса. В случае твердых прочных зарядов (прессованных, литых и т. п.) к конусу со стороны бóльшего диаметра прикрепляют шашку промежуточного детонатора, имеющую гнездо для электродетонатора. Приготовленный таким образом заряд крепят к металлической пластинке при помощи изоляционной ленты. На пластинке каким-либо острым предметом проводят две черты в местах, соответствующих положению концов заряда. На некотором известном расстоянии (2—3 *см*) от отметки вершины конуса проводят на свободной части пластины еще одну черту, которая является контрольной (см. рис. 29). В зависимости от размеров исследуемых зарядов применяют пластинки из свинца (если критический диаметр заряда менее 3 *мм*), латуни (критический диаметр менее 6 *мм*), кровельного железа или листовой стали.

После опыта находят пластинку, на которой был укреплен заряд, и измеряют расстояние от вершины заряда (или от контрольной черты, если отметка вершины заряда после взрыва не может быть точно найдена) до того места, где кончается след механического действия продуктов детонации. Зная размеры конуса до опыта, нетрудно по измеренному расстоянию вычислить диаметр заряда в том месте, где прекратилась детонация. Этот диаметр и считают критическим.

В случаях, требующих бóльшей точности, можно совместить измерение критического диаметра детонации в коническом заряде с определением скорости детонации фотографическим методом (см. работу 11).

Взрыв конического заряда позволяет определить критический диаметр, как правило, с помощью одного опыта, что является важным преимуществом данного метода. Он обладает, однако, и серьезными недостатками: в конусе трудно создать точно известную и постоянную по всему заряду плотность; диаметр заряда в месте, где затухла детонация, может быть определен лишь приблизительно; по коническому заряду детонация может распространиться на затухающем режиме несколько дальше, чем до диаметра, соответствующего критическому для устойчивой детонации цилиндрического заряда.

б) Метод цилиндрических зарядов

Критический диаметр по этому методу определяют, взрывая серию цилиндрических зарядов различного диаметра.

Для порошкообразных ВВ на заранее приготовленных пуансонах готовят оболочки из кальки, бумаги и т. д. Для жидких ВВ берут стеклянные трубки различного диаметра. Прессованные заряды готовят из шашек соответствующего диаметра, склеиваемых по торцам или заворачиваемых в бумажную гильзу. Для того чтобы иметь уве-

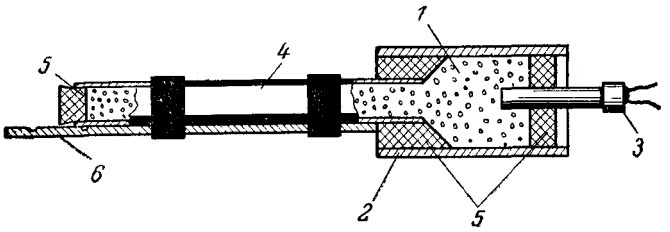

Рис. 30. Схема цилиндрического заряда с «нормальным» инициированием для определения критического диаметра:
1 — ВВ, *2* — стеклянная трубка; *3* — электродетонатор; *4* — цилиндрический заряд в бумажной оболочке; *5* — корковые пробки; *6* — металлическая пластинка

ренность в устойчивости распространения детонации в заряде данного размера, длину заряда желательно брать не менее 10 его диаметров. Готовят несколько зарядов разных диаметров. Особое внимание должно быть уделено тому, чтобы плотность всех зарядов была одинакова, точно известна и постоянна по всей длине заряда. Если заданная плотность близка к насыпной, то ее достигают уплотнением по частям так же, как описано для конических зарядов. Прессованные заряды следует готовить двукратным или двусторонним прессованием отдельных шашек с высотой не более 1,5 диаметра.

В качестве инициатора желательно применять заряд того же ВВ, что и в испытуемом, при той же плотности, но с диаметром, заведомо

большим критического. Схема такого заряда для случая порошкообразного ВВ показана на рис. 30.

Заряд крепят к металлической пластинке, переносят в бронекамеру и взрывают так же, как описано выше для конических зарядов.

По состоянию металлической пластинки после взрыва определяют, прошла ли детонация до конца заряда.

Подрывают несколько зарядов, постепенно уменьшая их диаметр до тех пор, пока не будет получен отказ или затухание детонации. Критическим диаметром считают арифметическое среднее между наибольшим диаметром, при котором произошло затухание и наименьшим диаметром, в котором заряд детонировал до конца.

Точность определения, т. е. интервалы диаметров, через которые надо готовить заряды, задается преподавателем.

Работа 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ МЕТОДОМ ДОТРИША

Сущность метода

Метод Дотриша основан на сравнении неизвестной скорости детонации исследуемого заряда ВВ с заранее известной скоростью детонации детонирующего шнура. Для этого в замкнутый контур, составленный из детонирующего шнура, включают определенной длины участок заряда изучаемого ВВ. Возбуждают детонацию в одной из точек контура и определяют по усилению механического действия место встречи детонационных волн, распространяющихся из точки инициирования по обеим ветвям контура.

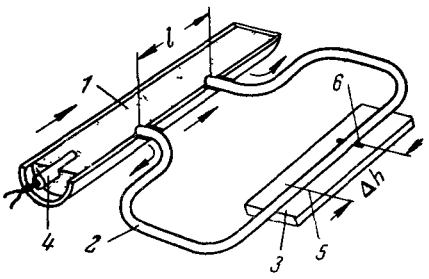

Рис. 31 Схема определения скорости детонации по Дотришу с одной линией детонирующего шнура

1 — испытуемый заряд ВВ *2* — отрезок детонирующего шнура *3* — свинцовая пластинка *4* — капсюль детонатор, *5* — черта на пластинке с которой совмещена середина отрезка шнура, *6* — углубление (метка) после взрыва на пластинке в месте встречи детонационных волн

Схема испытания показана на рис. 31. Детонация, распространяющаяся по исследуемому заряду от электродетонатора, вызовет последовательно взрыв сначала левого, а потом правого конца отрезка детонирующего шнура. Детонационные волны, возникшие в шнуре, движутся навстречу друг другу и встречаются в некоторой точке В этой точке в результате столкновения волн давление значительно возрастет по сравнению с давлением, возникающим в других точках шнура, и на пластинке, на которой лежал шнур, будет получено характерное углубление — метка.

Если бы детонаци ялевого и правого концов шнура (см. рис. 31) нача-

лась одновременно, то столкновение волн произошло бы точно посредине шнура. Так как детонация левого конца шнура начинается раньше, чем правого, то место столкновения волн будет смещено вправо от середины шнура. Расстояние места встречи волн от середины шнура измеряют после опыта. Обозначим это расстояние через Δh. Время распространения детонации по левой части шнура до точки встречи волн обозначим через $t_{лев}$, по правой — $t_{прав}$, а по заряду ВВ— $t_{зар}$. Очевидно ,что

$$t_{лев} = t_{зар} + t_{прав}. \qquad (1)$$

Если общая длина отрезка шнура L, скорость его детонации $D_ш$, длина заряда между точками ввода шнура l, а неизвестная скорость детонации заряда D_x, то:

$$t_{лев} = \frac{\frac{1}{2}L + \Delta h}{D_ш};$$

$$t_{зар} = \frac{l}{D_x};$$

$$t_{прав} = \frac{\frac{1}{2}L - \Delta h}{D_ш}.$$

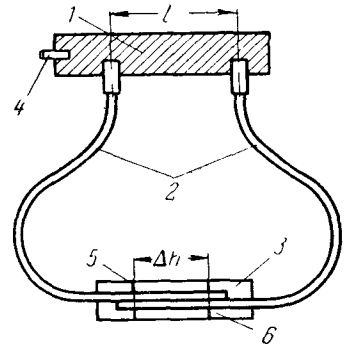

Рис 32 Схема определения скорости детонации с двумя линиями детонирующего шнура (Обозначения те же, что на рис. 31)

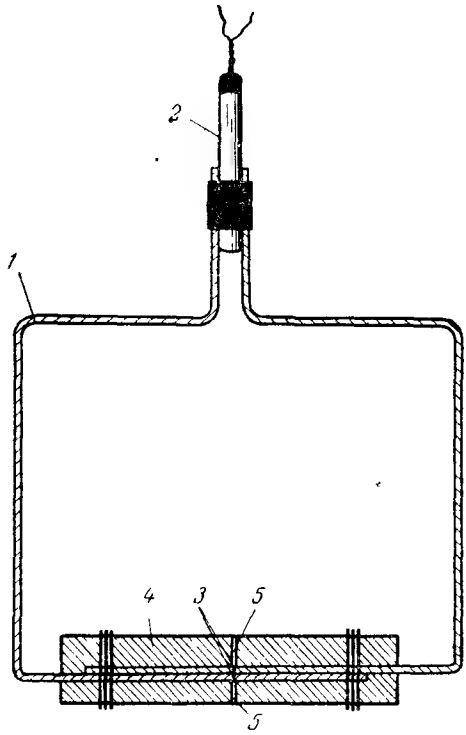

Рис 33 Схема определения постоянства скорости детонацин детонирующего шнура

1 — отрезки шнура, *2* — электродетонатор (отметки на обоих отрезках совмещены с дном гильзы детонатора), *3* — отметки на отрезках шнура 4 — металлическая пластинка, *5* — черта на пластинке

Подставляя эти величины в (1), находим

$$\frac{\frac{1}{2}L+\Delta h}{D_{ш}}=\frac{l}{D_x}+\frac{\frac{1}{2}L-\Delta h}{D_{ш}}.$$

Откуда

$$D_x=D_{ш}\frac{l}{2\Delta h}. \qquad (2)$$

Ошибка однократного измерения скорости детонации на базе 20—25 *см* составляет 3—5%. Возможная ошибка в значительной мере определяется непостоянством скорости детонации различных отрезков данной партии шнура. Скорость детонации шнура определяют фотографическим или осциллографическим методом (см. работы 11 и 12).

Можно определять скорость детонации данным методом, применяя не один, а два отрезка детонирующего шнура известной длины. На участке, где ожидается встреча детонационных волн, идущих по разным отрезкам, их укладывают на металлическую пластинку вплотную друг к другу (рис. 32). Такой прием предусмотрен, в частности, ГОСТ 3250—58.

Постоянство скорости детонации детонирующего шнура можно проверить тем же методом Дотриша. Для этой цели берут от разных бухт два отрезка шнура длиной по 1,2—1,4 *м*. На каждом из отрезков делают две отметки (тушью, краской): одну на расстоянии 2—5 *см* от конца, другую на 20—30 *см* от другого конца. Расстояние между отметками должно быть точно одинаковым на обоих отрезках шнура. Отрезки шнура собирают с электродетонатором и свинцовой (латунной) пластинкой по схеме, показанной на рис. 33, и производят взрыв. После взрыва измеряют расстояние Δh от черты на пластинке, с которой перед опытом были совмещены отметки на отрезках шнура, до углубления, образованного в месте встречи детонационных волн. Легко показать, что разность скоростей детонации испытанных отрезков шнура может быть приближенно найдена по формуле

$$\Delta D\simeq 2D_{ср}\frac{\Delta h}{l}, \qquad (3)$$

где l — расстояние между отметками на отрезках шнура;
$D_{ср}$ — среднее значение скорости детонации.

Методика выполнения работы

Исследуемое ВВ применяют в виде цилиндрического заряда заданного диаметра и плотности, помещенного в трубку. В зависимости от рода ВВ и полученного задания могут быть применены трубки из стали, бумаги, стекла и т. д. Диаметр заряда должен быть заведомо больше критического для данного ВВ и условий опыта. При изготовлении зарядов порошкообразных ВВ необходимо добиваться постоянства плотности на всех участках заряда. Общая длина заряда должна быть не менее 25 *см*. В трубке на расстоянии l друг от друга должны быть два отверстия диаметром около 6 *мм* для детонирующего шнура. Это расстояние l (базу измерения) желательно брать около 20—25 *см*. Перед опытом его измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 *мм*.

Расстояние от конца заряда, где будет помещен электродетонатор, до первого отверстия должно быть не менее 3 диаметров исследуемого заряда. Через отверстия в стенке трубки делают с помощью деревянного пуансона два углубления диаметром 6 *мм*, доходящие до оси заряда.

Отрезок детонирующего шнура произвольной длины (обычно применяют отрезки длиной 1,5—2,0 *м*) укладывают так, чтобы концы его входили на одинаковую глубину в отверстия в заряде, а средняя часть, вытянутая по прямой, лежала на пластинке-«свидетеле». Предварительно с точностью до 1 *мм* находят середину взятого отрезка шнура и отмечают ее на шнуре (чернилами, тушью). В качестве «свидетеля» применяют полоски листового свинца, латуни или листового алюминия длиной 250—500 *мм*, шириной 15—25 *мм* и толщиной 1—3 *мм*, которые перед испытанием прикрепляют к подкладке. В качестве подкладки для свинцовой пластинки можно применять стальную полосу толщиной 8—12 *мм*, а для латунной или алюминиевой пластинок — лучше деревянную планку толщиной 25—50 *мм*. На «свидетеле», в левой его части делают предварительно отметку (риска *5* на рис. 31), с которой точно совмещают середину отрезка шнура. Шнур прикрепляют к пластинке шпагатом[1].

Подготовленный заряд взрывают в бронекамере с соблюдением установленных мер предосторожности. При взрыве основного заряда ВВ, особенно если он имеет большой диаметр или заключен в металлическую оболочку, пластина-«свидетель» может быть сильно повреждена, что помешает точно найти расстояние Δh. Чтобы предохранить пластину от повреждения, ее вместе с прикрепленной к ней частью шнура обычно помещают в отрезок стальной трубы диаметром 75—150 *мм* либо накрывают кожухом, полученным при разрезании такой трубы вдоль образующей.

После взрыва пластину-«свидетель» осторожно очищают и с помощью штангенциркуля измеряют с точностью до 0,1 *мм* расстояние Δh от риски *5* до середины углубления *6*, образовавшегося в месте встречи детонационных волн, распространяющихся по шнуру. Скорость детонации рассчитывают по формуле (2).

Работа 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ФОТОРЕГИСТРА С ЗЕРКАЛЬНОЙ РАЗВЕРТКОЙ —СФР

Сущность метода и схема прибора

Определение скорости детонации с помощью скоростиого фоторегистра с зеркальной разверткой (СФР) принципиально состоит в фотографировании свечения, перемещающегося по заряду ВВ при его

[1] Для получения более четких результатов рекомендуется между шнуром и свинцовой пластинкой поместить по краям последней прокладки так, чтобы образовался по всей длине зазор в 1—2 *мм*. При наличии зазора разница в деформациях пластинки в месте встречи волн и на остальных участках шнура получается более отчетливой.

детонации. Прибор устроен так, что изображение светящегося фронта перемещается по пленке в двух взаимно перпендикулярных направлениях: по вертикали — со скоростью, пропорциональной скорости детонации, и по горизонтали — с точно известной скоростью развертки. Схема установки приведена на рис. 34.

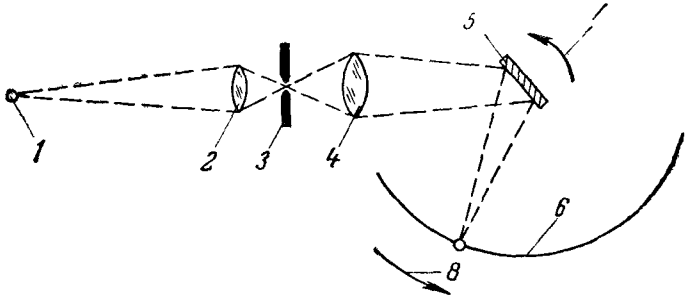

Рис. 34. Схема фоторегистра с зеркальной разверткой:
1 — заряд; *2* — первый объектив; *3* — щель; *4* — второй объектив; 5 — зеркало; *6* — пленка; *7* — направление вращения зеркала; *8* — направление перемещения изображения по плеике

Заряд ВВ, как правило, в прозрачной оболочке располагают так, чтобы ось его была параллельна оси зеркала. Первый объектив проектирует изображение заряда на плоскость щели, находящейся внутри прибора. Это изображение с помощью второго объектива проектируется на зеркало и, отражаясь от него, попадает на пленку, укрепленную в приборе на внутренней поверхности цилиндрического корпуса. Схема получаемого изображения показана на рис. 35.

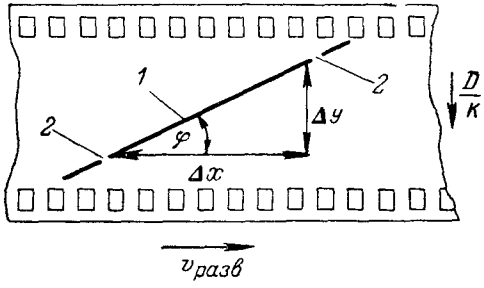

Рис. 35. Схема изображения на пленке:
1 — изображение светящегося фроита детонации; *2* — перерыв изображения в месте установки на заряде непрозрачного кольца

Обозначим через K коэффициент уменьшения оптической системы, т. е. отношение длины объекта в натуре к длине его изображения. Если по зариду сверху вниз распространяется детонация со скоростью D, то на пленке изображение светящегося фронта детонации будет перемещаться также сверху вниз со скоростью D/K.

За некоторое время τ свечение детонации распространится по заряду на длину $l=D\tau$; за это же время изображение светящегося фронта переместится по пленке сверху вниз на расстояние $\Delta y=D\tau/K$. Вследствие вращения зеркала изображение перемещается одновременно в горизонтальном направлении со скоростью $v_{разв}$. За время τ перемещение изображения по пленке в направлении развертки составит $\Delta x=v_{разв.}\tau$. В результате сложения перемещений в двух взаимно перпендикулярных направлениях изображение получится в виде наклонной линии. Угол наклона ее к горизонтали, очевидно, определится из соотношения

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{D/K}{v_{разв}}.$$

Откуда

$$D=v_{разв}K\operatorname{tg}\varphi. \tag{1}$$

Если зеркало делает в минуту n оборотов, а расстояние от плоскости зеркала до пленки в метрах равно R, то скорость развертки (в *м/сек*) составит

$$v_{разв}=\frac{2\cdot 2\pi Rn}{60}=\frac{\pi Rn}{15}. \tag{2}$$

В выражении (2) второй коэффициент 2 входит потому, что при повороте зеркала на некоторый угол α отраженный луч повернется на угол 2α, поэтому угловая скорость вращения луча вдвое больше угловой скорости вращения зеркала.

Подставляя (2) в (1), получим

$$D=\frac{\pi Rn}{15}K\operatorname{tg}\varphi. \tag{3}$$

Величина R является константой прибора. (В приборе СФР-2 R около 0,24 *м*.)

Практически удобнее и точнее измерять не угол наклона изображения φ, а непосредственно длины проекций определенного участка изображения на вертикальную ось Δy и горизонтальную Δx. Очевидно, что

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{\Delta y}{\Delta x},$$

тогда

$$D=\frac{\pi Rn}{15}K\frac{\Delta y}{\Delta x}. \tag{4}$$

Для определения скорости детонации необходимо знать коэффициент оптического уменьшения K. Измерить K можно, сфотографировав при неподвижном зеркале ярко освещенную масштабную линейку, подвешенную точно в том же месте, где будет установлен исследуемый заряд. Более простым и надежным является, однако, следующий прием: прозрачную оболочку заряда обматывают в двух местах изоляционной или другой непрозрачной лентой. Необходимо проследить, чтобы края колец ленты были гладки и располагались строго перпендикулярно к оси заряда. Расстояние между кольцами (обозначим его через l_1) измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 *мм*. На пленке в местах, соответствующих положениям непрозрачных колец, получатся разрывы изображения, как схематически показано на рис. 35. При обработке результатов опыта точно измеряют расстояние по вертикали между этими разрывами (обозначим его через l_2); коэффициент оптического уменьшения, очевидно, равен:

$$K=\frac{l_1}{l_2}.$$

Если в качестве базы для определения вертикальной проекции изображения Δy также взять длину отрезка l_1, то согласно выражению (4) получим

$$D = \frac{\pi R n}{15} \cdot \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_2}{\Delta x} = \frac{\pi R n}{15} \cdot \frac{l_1}{\Delta x}. \quad (5)$$

Формула (5) и служит для вычисления скорости детонации по опытным данным.

Для определения скорости вращения зеркала в установке СФР имеются два прибора: 1) электрический тахометр с двумя пределами измерения, позволяющий приближенно определять число оборотов зеркала в минуту во всем интервале скоростей вращения, осуществимом на фоторегистре; 2) электронный тахоскоп, позволяющий точно установить достижение зеркалом некоторой фиксированной скорости вращения. Принцип действия электронного тахоскопа заключается в следующем: на оси вращения зеркала имеется датчик, вызывающий при вращении колебания в специальной электрической цепи. Частота этих колебаний равна числу оборотов зеркала в секунду. В пульте управления прибора имеется кварцевый генератор, дающий электрические колебания строго постоянной частоты, равной 1000 $сек^{-1}$. Частоты колебаний, генерируемых кварцем и контуром, возбуждаемым при вращении зеркала, сравниваются с помощью специальной электронной схемы. При этом на экране электронно-лучевой трубки, имеющейся в приборе, возникает светящееся изображение эллипса с зубцами. Определенное число зубцов на неподвижном эллипсе получается тогда, когда число оборотов зеркала точно соответствует определенному кратному от частоты кварцевого генератора.

Таблица фиксированных чисел оборотов зеркала приведена ниже.

Таблица

Фиксированные числа оборотов зеркала прибора СФР-2

Число зубцов на эллипсе	Число оборотов зеркала в минуту	Число зубцов на эллипсе	Число оборотов зеркала в минуту
1	7 500	5	37 500
2	15 000	6	45 000
3	22 500	7	52 500
4	30 000	8	60 000

Если число оборотов зеркала отличается от фиксированного, то зубцы на экране вращаются в ту или иную сторону, причем число оборотов изображения на экране осциллоскопа равно разности между числом оборотов зеркала и фиксированной частотой. Регулируя с помощью автотрансформатора, имеющегося на пульте управления прибора, число оборотов мотора, вращающего зеркало, добиваются остановки на экране эллипса с числом зубцов, соответствующим заданной скорости развертки. В этот момент и производят взрыв.

Фоторегистр с зеркальной разверткой типа СФР требует синхронизации момента взрыва с определенным положением зеркала. Пленка в приборе расположена по дуге около 120°. Очевидно, что изображение будет попадать на пленку при каждом обороте зеркала лишь в течение некоторой доли периода его вращения. Интересующее нас явление будет фиксировано на пленке только в том случае, если оно пройдет в течение этого «рабочего» промежутка. Чтобы обеспечить синхронизацию, для возбуждения взрыва применяют специальные быстродействующие электродетонаторы, так как у обычных электродетонаторов так называемого мгновенного действия разброс времен срабатывания отдельных

экземпляров одной и той же партии слишком велик по сравнению с продолжительностью нахождения зеркала в рабочем положении[1].

Для возбуждения взрыва электродетонатора в установке СФР используют кратковременный электрический импульс высокого напряжения (10—40 *кв*), вырабатываемый специальным узлом схемы. Имеющееся в установке синхроимпульсирующее устройство обеспечивает посылку этого импульса только при определенном положении зеркала, выбранном для данного опыта.

Устройство и действие установки СФР

Назначение, устройство и действие основных узлов установки СФР, а также правила обращения с ней приведены в заводском описании. Там же помещены многочисленные схемы и фотографии установки и ее узлов в разных вариантах сборки и при различных положениях. Прежде чем приступить к выполнению работы, следует внимательно ознакомиться с этим описанием.

В настоящем руководстве подробное описание устройства и общие правила обращения с установкой не приводятся.

Проведение опыта

Проведение опыта по измерению скорости детонации включает следующие основные операции:

а) подготовка прибора,
б) подготовка заряда,
в) установка заряда,
г) проведение взрыва и фоторегистрация.

а) Подготовка прибора

Контроль установки и приблизительное определение коэффициента оптического уменьшения, выбор скорости развертки. Фоторегистр должен быть установлен так, чтобы ось вращения зеркала располагалась строго вертикально. Перед началом работы проверяют правильность установки фоторегистра по двум уровням, находящимся на его крышке, и в случае необходимости регулируют его положение с помощью трех опорных винтов подставки камеры. Снимают крышку, закрывающую фильмовый канал, и устанавливают на место пленки специальную лупу. Особым ключом поворачивают зеркало таким образом, чтобы оно отражало лучи из объектива в пределах фильмового окна, и наводят лупу на середину зеркала. Поворотом рукоятки на корпусе прибора (поз. «О» по схеме фиг. 27 в заводском описании) вместо щели ставят между объективами открытое окно. Внутрь бронекамеры вносят переносную лампу и на место, где будет установлен при опыте заряд, помещают линейку с делениями или другой под-

[1] В новых моделях фоторегистров вместо плоского зеркала применена многогранная зеркальная призма. Развертка при этом получается непрерывной и необходимость синхронизации момента взрыва с определенным положением зеркала отпадает. С помощью таких приборов можно изучать не только стационарную детонацию, но и процессы перехода горения во взрыв.

ходящий предмет. Удобным объектом для наводки является стеклянная трубка такого же диаметра, как трубка для испытуемого заряда, с помещаемой внутрь нее проволочной спиралью. На трубку наносят непрозрачные кольцевые метки такие же, как на заряд. Перемещая трубку (линейку), добиваются того, чтобы она располагалась по оси поля зрения аппарата и строго вертикально, после чего, поворачивая резьбовую оправу первого объектива, производят наводку на фокус. Резкость изображения контролируют через лупу. Измерив высоту изображения на матовом стекле и зная по делениям масштабной линейки или расстоянию между метками длину соответствующего участка трубки, определяют приближенно коэффициент оптического уменьшения и наибольшую длину измерительного отрезка (базу) на испытуемом заряде, которая помещается в поле зрения фоторегистра. Желательно измерять скорость детонации на максимальной базе.

Скорость развертки выбирают таким образом, чтобы получить наибольшую точность измерения. Анализ показывает, что наименьшая ошибка получается при прочих равных условиях в том случае, когда угол наклона изображения на пленке близок к 45°. Из (3) следует, что при

$$\varphi = 45^\circ \ (\operatorname{tg}\varphi = 1)$$

$$v_{\text{разв}} = D/K. \tag{6}$$

Определив приближенно K и оценив ожидаемую величину D, находим из (6) желательную скорость развертки, по формуле (2) определяем соответствующее число оборотов и по таблице выбираем ближайшее к расчетному из фиксированных чисел оборотов.

Контроль и регулировка системы синхронизации взрыва. Снимают лупу и закрывают фильмовый канал матовым стеклом. Помещают лампочку в поле зрения фоторегистра и, включив на короткое время мотор, вращающий зеркало, при минимальном числе оборотов определяют по матовому стеклу направление движения изображения. Открыв верхнюю крышку фоторегистра, вставляют разрядник. Расстояние между остриями разрядника предварительно устанавливают равным 2—3 *мм*. Вращением головки, регулирующей опережение или отставание пуска, устанавливают указатель опережения на нулевом делении шкалы. К клеммам разрядника подключают высоковольтный кабель от пульта управления установки и включают мотор, вращающий зеркало. Предварительно поворотом специального ключа включают высоковольтную часть установки (порядок включения см. ниже на стр. 70).

Постепенно увеличивают число оборотов мотора, в момент, когда оно приблизительно достигнет намеченного для измерения, нажимают кнопку «пуск» и замечают, где появилось изображение искры на матовом стекле. При правильной регулировке системы синхронизации искра должна появиться на том краю матового стекла, откуда луч начинает свое движение. Если этого не получается, то после выключения напряжения и полной остановки мотора поворачивают регулятор

опережения на небольшой угол и повторяют описанные выше операции до тех пор, пока изображение искры не будет появляться на краю матового стекла.

В случаях когда предполагают измерить скорость детонации на участке заряда, удаленном от детонатора, момент проскакивания искры устанавливают с некоторым опережением по отношению к положению, определенному указанным выше способом. Величину опережения нетрудно рассчитать, зная ориентировочно скорость детонации, расстояние от точки инициирования до начала измеряемого участка и скорость вращения зеркала.

б) Подготовка заряда

В качестве оболочки заряда могут быть применены трубки из стекла, полиметилметакрилата, целлофана и т. п., а также, по указанию преподавателя, из кальки или бумаги. Прочные заряды (прессованные, литые) можно испытывать без оболочек. При испытании зарядов в непрозрачных оболочках можно со стороны, обращенной к объективу, сделать в оболочке щель или ряд отверстий. При измерении скорости детонации детонирующего шнура, где ВВ также окружено непрозрачной оболочкой, можно получить четкое изображение, если опудрить поверхность шнура порошком гексогена или тэна. Детонирующий шнур с пластикатовой оболочкой, к которой порошок не прилипает, предварительно смазывают тонким слоем лака и опудривают раньше, чем этот слой окончательно высохнет.

Участок измерения обычно располагают так, чтобы начало его находилось на расстоянии не менее трех диаметров заряда от точки инициирования, а конец — на расстоянии около 10 *мм* от конца заряда. В начале и конце измерительного участка трубку обматывают изоляционной лентой или полосками черной бумаги шириной около 5 *мм*. Расстояние между кольцами измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 *мм*.

В верхней части заряда следует подготовить место для установки электродетонатора (шашка с гнездом; в порошкообразном ВВ — углубление, выполненное с помощью деревянного пуансона, или пробка, подобранная по размеру трубки, с центральным отверстием, соответствующим диаметру детонатора).

в) Установка заряда и пленки

Подготовленный для испытания заряд без электродетонатора вносят в бронекамеру и устанавливают (подвешивают) на место, тщательно контролируя по отвесу вертикальность его установки. Освещая заряд переносной лампой, проверяют точность наводки объектива на резкость, после чего ставят в рабочее положение щель и регулируют ее ширину. Следует добиваться такой установки заряда, чтобы ось щели лежала в одной плоскости с осью заряда.

Желательно всегда работать со щелью минимальной ширины, которая еще обеспечивает четкую регистрацию свечения на пленке. Ширину щели подбирают опытным путем, причем ее можно брать тем меньше, чем интенсивнее свечение при детонации, чем больше чувствительность пленки и чем меньше скорость развертки. Во всяком случае, щель должна вырезать на изображении заряда участок шириной не более половины его диаметра.

Когда заряд установлен, выносят из бронекамеры источник света и, освещая ее снаружи через окно или дверь, устанавливают на место специальный электродетонатор, проводники которого присоединяют к вводам высоковольтного кабеля, идущего от пульта управления. Двери камеры запирают.

Удаляют из фоторегистра рамку с матовым стеклом; устанавливают кассеты и пленку, руководствуясь заводской инструкцией. Размер получающегося кадра 25×375 *мм*. Длину отрезка пленки берут равной 60 *см* (один снимок), 110 *см* (два снимка) или 160 *см* (три снимка). После заряжания пленки нужно повернуть до отказа рукоятку на крышке камеры по направлению, указанному на ней стрелкой.

г) Проведение взрыва и фоторегистрация

Устанавливают ручку «яркость» на пульте в крайнее левое положение. Рукоятку управления затвором ставят в положение *2* или *3*. Переводят переключатель с надписью «сеть» в положение «вкл», при этом должны загореться лампочки подсветки шкалы тахометра и сигнальные лампочки с надписью «сеть» и «питание автоматики». После включения напряжения нужно дать пульту прогреться в течение 5—10 *мин*. Поворотом ручек «яркость» и «фокус» следует добиться четкого изображения эллипса на экране трубки.

В зависимости от выбранной скорости вращения зеркала следует перевести переключатель шкалы тахометра в положение «контроль 45 тыс *об/мин*» или «контроль 90 тыс *об/мин*». При этом на экране трубки должно появиться изображение эллипса соответственно с 4 или 8 зубцами, а стрелка индикатора должна находиться на делении 30 или 60. Если стрелка индикатора отклонена от этого положения, то поворотом ручки потенциометра с надписью «установка шкалы тахометра» устанавливают ее точно на делении 30 или 60, после чего переключатель переводят в положение «работа».

Далее поворачивают штурвал плавной регулировки электродвигателя в крайнее левое положение, а правый переключатель с надписью «регулировка мотора грубо» — в положение *1*. Переводят левый переключатель с надписью «регулировка мотора» в положение «вкл»; при этом должна загореться сигнальная лампочка с надписью «питание мотора», после чего пульт управления установки СФР готов к работе. Тогда можно вставить ключ в замок, расположенный под надписью «высокое напряжение».

Этот ключ играет ту же роль, что и ключ от взрывной машинки при обычных взрывных работах. Во все время подготовки и проведения опыта лицо, ведущее работу, должно держать ключ при себе.

Для получения необходимого числа оборотов зеркала штурвал плавной регулировки медленно вращают по часовой стрелке, отмечая при этом число оборотов — грубо по тахометру и точнее по электронному тахоскопу. Если при повороте штурвала до упора число оборотов не достигает нужного значения, то быстро выводят штурвал, вращая его по направлению стрелки «меньше», до упора, правый переключатель ставят в положение *2* и снова плавно вращают штурвал по направлению «больше» до получения заданного числа оборотов. Если число оборотов и на этот раз недостаточно, поступают аналогичным образом и далее, каждый раз переводя переключатель «регулировка мотора грубо» на ближайшую следующую позицию.

При скоростях вращения зеркала более 45000 *об/мин* двигатель не должен работать непрерывно дольше 2 *мин*. Повторно включать регистр можно лишь тогда, когда мотор остынет до температуры помещения.

Когда число оборотов зеркала приблизится к заданному, нужно повернуть ключ в положение «вкл», при этом должна загореться лампочка с надписью «пуск подготовлен». В момент, когда эллипс с фиксированным числом зубцов остановится на экране осциллоскопа, следует нажать кнопку «пуск», при этом должна загореться сигнальная лампочка «затвор открыт». Когда произойдет взрыв, лампа «пуск подготовлен» погаснет, после чего можно будет перевести ключ в положение «выкл» и вынуть его из замка. После этого отключают питание электродвигателя (переключатель под надписью «регулировка мотора» перевести в положение *0*, штурвал плавной регулировки — в крайнее левое положение, а переключатель грубой регулировки — в положение *1*), а затем и всей установки (перевести переключатель с надписью «сеть» в положение *0*).

Если пленка израсходована полностью, камеру можно разряжать при рассеянном дневном или при электрическом освещении; при неполном израсходовании пленки ее лучше разряжать в темноте, чтобы сохранить отрезок пленки, находящийся между кассетами.

Для разрядки камеры необходимо: а) повернуть до отказа против часовой стрелки рукоятку прижима пленки, находящуюся на крышке фильмового канала; б) отжать навстречу друг другу замки крышки, поворотом против часовой стрелки откинуть на петлях и снять ее; в) в зависимости от того, где находится экспонированная пленка, оттянуть кверху рукоятку сматывающего или наматывающего механизма и вынуть соответствующий пенал с пленкой; г) надеть крышку камеры и повернуть ее до защелкивания замков; д) повернуть рукоятку крышки в направлении стрелки на ее торце до отказа.

По окончании работы следует надеть чехлы на камеру и пульт управления и убрать рабочее место.

Экспонированную пленку проявляют, фиксируют и сушат, после чего можно определить скорость детонации по отпечатку или проектируя полученное изображение на белую бумагу.

Работа 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ МЕТОДОМ ИОНИЗАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ (ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ)

Сущность метода

В детонационной волне продукты взрыва, находящиеся под огромным давлением и при высокой температуре, сильно ионизированы. Электрическое сопротивление таких ионизированных продуктов мало, они являются сравнительно хорошими проводниками. Для обычных ВВ сопротивление промежутка между двумя остриями, находящимися в продуктах взрыва, в момент прохождения детонационной волны составляет около 10—20 *ом/мм*. Напротив того, ВВ в исходном состоянии (твердые, жидкие, газы), как правило, сравнительно хорошие изоляторы и ток практически не проводят (сопротивление промежутка между остриями, находящимися в ВВ, измеряется тысячами *ом/мм*).

Резкое изменение электрического сопротивления в момент прохождения детонационной волны используют для определения скорости детонации. Для этого в исследуемом заряде ВВ на точно известном расстоянии друг от друга располагают два или более ионизационных датчика (искровых промежутка), на которые подают определенное электрическое напряжение. В момент прохождения детонационной волны сопротивление ионизационного датчика меняется резким скачком, что вызывает скачок напряжения в специальной электрической схеме. Скачки напряжения на каждом ионизационном датчике регистрируют с помощью катодного осциллографа; осциллограмма позволяет определить промежуток времени между моментами замыкания датчиков.

Значительная ионизация и обусловленный ею резкий рост проводимости наблюдаются не только в продуктах взрыва, но и в некоторых инертных (невзрывчатых) средах в момент прохождения фронта сильной ударной волны. Описываемый метод пригоден поэтому и для определения скоростей ударных волн.

Принцип работы катодного осциллографа

Основным узлом катодного осциллографа является электронно-лучевая трубка, упрощенная принципиальная схема которой показана на рис. 36. Катод трубки излучает поток электронов, который с помощью сетки и анодов ускоряется и превращается в тонкий пучок (электронный луч), показанный на рисунке пунктиром. Луч попадает на экран, покрытый веществом, способным светиться под действием удара электронов. В точке экрана, на которую попал электронный луч, возникает свечение. На пути к экрану луч проходит между двумя парами электродов, расположенными в двух взаимно перпендикулярных плоскостях Если на электроды подать напряжение, то электронный луч отклонится от своего центрального (нулевого) положения. При этом одна пара пластин отклоняет луч вверх или вниз, а вторая — влево или вправо. На пластины горизонтального отклонения луча с помощью специального электрического устройства, являющегося одним из узлов осциллографа, подается напряжение, линейно изменяющееся со временем. Под действием этого напряжения электронный луч перемещается по экрану с определенной, постоянной скоростью, обес-

печивая развертку исследуемого процесса во времени. Изменения напряжения, вызванные исследуемым процессом, подаются на другие пластины и вызывают отклонение луча по вертикали. Благодаря временной развертке электронный луч описывает на экране некоторую кривую, на которой скачки напряжения, вызванные появлением проводимости в ионизационных датчиках, находятся друг от друга на расстоянии, пропорциональном интервалу времени между замыканиями датчиков. Во время опыта экран осциллографа фотографируют обычным фотоаппаратом.

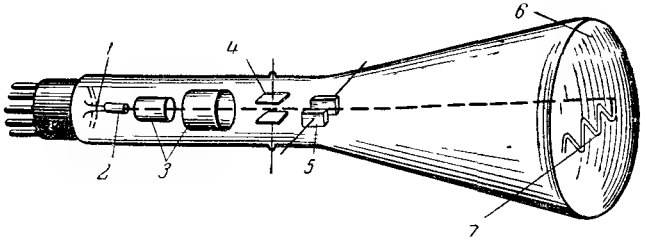

Рис. 36. Схема электронно-лучевой трубки:
1 — катод; *2* — сетка; *3* — аноды; *4* — пластины, отклоняющие луч в вертикальной плоскости; *5* — пластины, отклоняющие луч в горизонтальной плоскости; *6* — экран; *7* — светящаяся кривая на экране

При регистрации однократных процессов, к числу которых относится и измерение скорости детонации данным методом, катодный осциллограф работает в режиме так называемой «ждущей развертки». В этом режиме луч пробегает по экрану с заданной скоростью только один раз. Развертка включается специальным сигналом (скачок напряжения), подаваемым на клеммы осциллографа, обозначенные надписью «пуск». Пусковой сигнал подают за очень короткий промежуток времени перед появлением первого скачка напряжения, подлежащего регистрации. Способ получения пускового сигнала будет указан ниже.

Для измерения скорости детонации применяют осциллографы с линейной и спиральной развертками. Существует несколько типов осциллографов с тем и другим видом развертки, пригодных для измерения скорости детонации. В дальнейшем описании рассмотрено применение одного из осциллографов с линейной и одного — со спиральной разверткой. Отличия в технике выполнения работы с осциллографами других типов невелики. Во всех случаях, кроме данного руководства, следует изучить заводскую инструкцию к осциллографу.

Определение скорости детонации по записи на осциллографе с линейной разверткой

Примером осциллографа с линейной разверткой является двухлучевой осциллограф ОК-17М. В электронно-лучевой трубке осциллографа ОК-17М по схеме, описанной выше, одновременно образуется два электронных луча. При измерении скорости детонации оба луча перемещаются вдоль горизонтальной оси с одинаковой скоростью. На электроды, вызывающие вертикальное отклонение одного луча, подают скачки напряжения на ионизационных датчиках, на электроды, управляющие движением второго луча,— переменное напряжение известной и строго постоянной частоты, например, от кварцевого генератора, генератора стандартных сигналов и т. п., дающее масштаб времени для каждой осциллограммы. Пример осциллограммы показан на рис. 37.

Скорость детонации легко найти, зная расстояние между датчиками в заряде и определив по осциллограмме интервал времени между двумя скачками напряжения τ. Интервал времени определяют сравнением расстояния между скачками на осциллограмме l с расстоянием l_0 между двумя соседними пиками кривой масштаба времени[1].

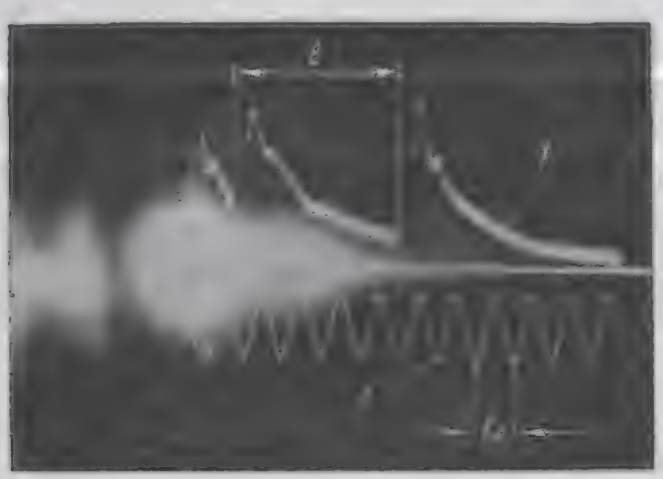

Рис. 37. Образец записи, полученной на осциллографе ОК-17М:

1 — кривая напряжений на ионизационных датчиках; *2* — кривая эталонной частоты (масштаб времени)

Очевидно, что

$$D = \frac{L}{\tau} = L\frac{l_0 f_0}{l} \cdot 10^{-3} \ м/сек,$$

где L — расстояние между датчиками в *мм*;

f_0 — частота кривой масштаба времени (периодов в *сек*).

Величины l и l_0 входят в формулу для определения скорости детонации только в виде отношения. В связи с этим степень увеличения или уменьшения изображения роли не играет. Практически измерения производят либо проектируя фотографию с помощью увеличителя на белый экран, либо по увеличенному позитиву.

В осциллографе ОК-17 минимальное время развертки (наименьшее время, за которое электронный луч пробегает весь экран) составляет 3 микросекунды. При такой скорости развертки погрешность измерения интервала времени не превышает $1 \cdot 10^{-7}$ *сек*. Если расстояние между ионизационными датчиками в заряде определено доста-

[1] Для большей точности следует измерить расстояние между пиками нескольких периодов эталонных колебаний, прошедших в интервале между двумя скачками напряжения.

точно точно (измерительным микроскопом, микрометром и т. п.), то скорость детонации около 8 *км/сек* при базе измерения, равной 8 *см*, может быть измерена с ошибкой не более одного процента.

Определение скорости детонации по записи на осциллографе со спиральной разверткой

Примером осциллографа со спиральной разверткой электронного луча является измеритель времени ИВ-22. В данном осциллографе электронный луч описывает по экрану Архимедову спираль от периферии к центру с постоянной угловой скоростью (один оборот за

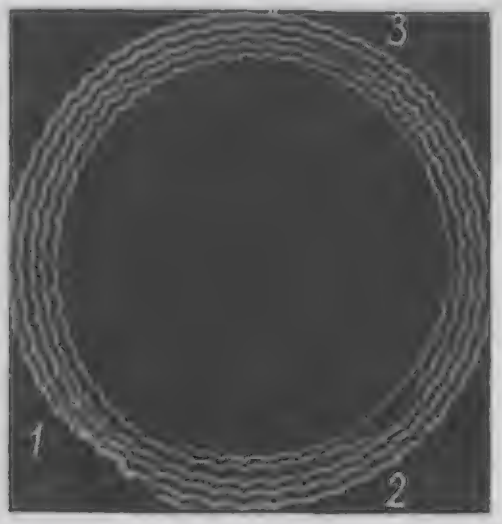

Рис. 38. Образец записи, полученной на осциллографе ИВ-22; *1*, *2*, *3* — отклонения луча при замыкании датчиков

10 микросекунд). Диаметр начальной окружности 180 *мм*. Общая длительность развертки 50 *мксек*. Импульсы напряжения от ионизационных датчиков вызывают отклонение луча в радиальном направлении (рис. 38). Интервал времени между двумя импульсами τ пропорционален углу поворота луча между двумя радиальными отклонениями φ. Если измерять τ в секундах, а φ в градусах, то

$$\tau = 2{,}8 \cdot 10^{-8} \varphi.$$

Для облегчения обработки осциллограмм и повышения точности отсчета в осциллографе ИВ-22 на спираль круговой развертки наносятся метки времени в виде небольших радиальных отклонений. Метки времени подаются через $2 \cdot 10^{-7}$ *сек* специальным кварцевым генератором, встроенным в прибор.

Если производить обработку осциллограмм при увеличении и до размеров изображения на экране (диаметр внешней окружности 180 *мм*), то среднее расстояние между метками времени оказывается 10 *мм*. В этом случае расстояние от отметки каждого импульса до ближайшей метки времени легко измерить с точностью не менее 0,5 *мм*, и общая ошибка в измерении интервала времени окажется не больше $2 \cdot 10^{-8}$ *сек*. Таким образом, скорость детонации около 8 *км/сек* может быть измерена с ошибкой менее 1% при длине базы около 2 *см*. Интервал времени между моментами замыкания двух датчиков находят следующим образом:

$$\tau = \left(n + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}\right) \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ сек},$$

где n — число целых интервалов меток времени между отметками импульсов на осциллограмме;

Δl_1 и Δl_2 — расстояние от отметки каждого импульса до ближайшей метки времени, расположенной внутри определяемого интервала;

l_1 и l_2 — расстояние между соседними метками времени в местах отметок импульсов

Электрические схемы измерения и способы пуска осциллографа

Одна из возможных схем измерения показана на рис. 39. В заряде находятся две проволочки, оканчивающиеся остриями, которые с заземленным проводником *3* образуют ионизационные датчики, находящиеся на точно измеренном расстоянии друг от друга. Ионизационные датчики соединены с конденсаторами малой емкости, которые заряжаются до напряжения 100—200 вольт от батареи через большие (10—20 *ком*) сопротивления. Точка, соединенная со входом осциллографа, оказывается под некоторым постоянным напряжением. В момент замыкания первого датчика ионизированным фронтом детонационной волны конденсатор C_1 начнет разряжаться через датчик и сопротивление R_4 (0,5—1 *ком*). Возникнет кратковременный (из-за малой емкости конденсатора)

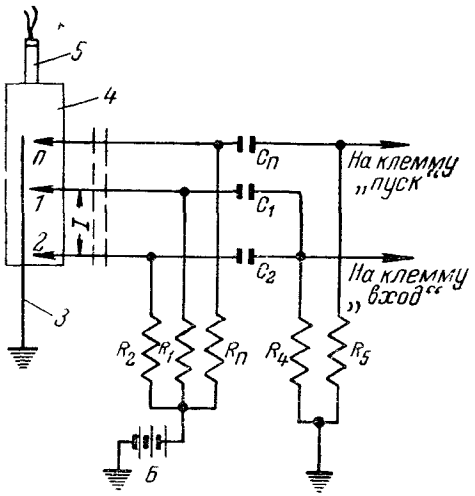

Рис. 39. Схема измерения с пусковым датчиком (осциллограф ОК-17М):

1,2 — ионизационные датчики *3* — заземленный проводник: *Б* — батарея; *П* — пусковой датчик; R_1, R_2, $R_П$ — зарядные сопротивления; R_4, R_5 — разрядные сопротивления: C_1, C_2, $C_П$ — конденсаторы; *4* — заряд ВВ; 5 — электродетонатор

импульс разрядного тока, который вызовет соответствующее скачкообразное изменение потенциала, фиксируемое осциллографом. Второй скачок на кривой напряжений возникнет аналогично при замыкании другого датчика.

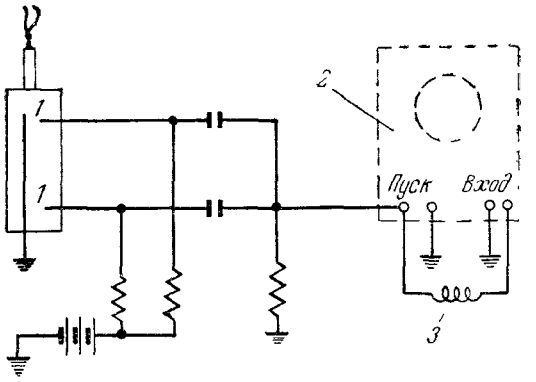

Рис. 40. Схема измерения с линией задержки:
1 — ионизационные датчики; *2* — осциллограф; *3* — линия задержки

Несколько усложнив схему, можно ввести в заряд не два, а несколько датчиков и измерить скорость детонации на нескольких базах в одном опыте. Известны схемы, позволяющие записывать изменение скорости детонации непрерывно, что дает возможность изучать осциллографическим методом не только стационарную детонацию, но и процессы возникновения и затухания взрыва.

В схеме, показанной на рис 39, для запуска развертки осциллографа ОК-17М применен специальный «пусковой» датчик, введенный в заряд таким образом, чтобы он был замкнут детонационной волной на 1—2 *мксек* раньше, чем первый измерительный датчик. В цепь пускового датчика включены такие же элементы (конденсатор и сопротивления), что и в цепи измерительных датчиков. Замыкание датчика «*П*» вызывает скачок напряжения в точке, соединенной с клеммой осциллографа «пуск»[1]. Этот скачок напряжения запускает развертку электронного луча в трубке осциллографа.

Пуск осциллографа ОК-17М (а также ОК-15) можно осуществить и без специального пускового датчика, от самого измеряющего импульса. В этом случае сигнал измеряющего импульса подают параллельно на клеммы «пуск» и «вход», но между этими клеммами включают так называемую «линию задержки», обладающую определенными емкостью и сопротивлением (см. схему на рис. 40). Практически в качестве линии задержки можно применить отрезок коаксиального кабеля РК-2 длиной 30—50 *м*. На измерение интервала времени между моментами замыкания датчиков *1* и *2* наличие дополнительной постоянной задержки не влияет.

В осциллографе ИВ-22 линия задержки имеется в самой схеме прибора. Измеряемый сигнал подают одновременно на клеммы «пуск» и «вход» осцилло-

---

[1] На панели осциллографа ОК-17М имеются две клеммы с надписью «пуск» и две клеммы с надписью «вход верт. усил». Провода от точек 0 и 0_1 присоединяют соответственно к одной из клемм каждой пары, а вторую клемму соединяют с землей.

графа. Благодаря наличию линии задержки, поступающий сигнал сначала запускает спиральную развертку луча, а через $2 \cdot 10^{-8}$ *сек* после появления спирали на экране вызывает отклонение луча, фиксирующее приход первого импульса.

Подготовка зарядов

а) Заряды из прочных (прессованных, литых и т. п.) шашек

Для определения скорости детонации прессуют (или готовят другими способами) цилиндрические шашки исследуемого ВВ диаметром от 5 до 15 *мм* и общей длиной 50—75 *мм* (в зависимости от величины участка измерения). Для получения равномерной плотности высоту каждой шашки следует брать не более 1,3 диаметра[1].

Как уже указывалось, катодный осциллограф позволяет измерять скорость детонации с высокой точностью. При скорости детонации 7—8 *км/сек* возможная ошибка составит всего 35—40 *м/сек*. Изменение плотности заряда на 0,01 *г/см*^{3} приводит к изменению скорости детонации примерно на такую же величину. Плотности шашек не должны поэтому отличаться друг от друга больше чем на 0,01 *г/см*^{3}. Определяют плотность шашек, измеряя микрометром их высоту и диаметр и взвешивая каждую из них с точностью до 0,001 *г*.

Для опыта отбирают несколько шашек с минимальными отклонениями плотности. Их суммарная высота, представляющая собой базу определения скорости детонации, должна быть около 40 *мм* и измерена с точностью до 0,01 *мм*.

Дальнейшие операции описаны применительно к измерению скорости детонации осциллографом ОК-17М по схеме рис. 39. В случае других схем или другого осциллографа отличия не принципиальны.

Для сборки заряда предварительно готовят желобок из белой жести, сечение которого представляет часть окружности с диаметром, близким к диаметру заряда. С одного конца край желобка отогнут как упор для шашек заряда. К желобку припаивают отрезок изолированного провода длиной 30—40 *см*. Желобок выполняет в дальнейшем роль общего провода *3* в схеме, показанной на рис. 39.

Далее берут три отрезка медного провода диаметром 0,5 *мм* и длиной по 50—60 *см* в пластикатной изоляции. Оба конца каждого отрезка на длине 3—4 *см* очищают от изоляции. Один из очищенных концов сплющивают, прокатав его в вальцах или расклепав молотком до толщины 0,03—0,05 *мм*.

Заряд собирают следующим образом (см. рис. 41): укладывают в желобок одну шашку ВВ, прижимают ее к упору и прикрепляют отрезком изоляционной ленты. Одновременно к шашке плотно прикрепляют один из отрезков провода так, чтобы сплющенный конец его выступал над свободным торцом шашки на длину, равную ее радиусу. Этот конец загибают на торец шашки так, чтобы полоска легла

[1] Выбор диаметра и плотности шашек определяется родом ВВ и характером выполняемого исследования.

по ее радиусу и достигла центра шашки. Данный отрезок провода образует датчик *2* по схеме рис. 39.

Затем укладывают точно измеренные по высоте шашки (база измерения). При этом надо следить, чтобы шашки были плотно прижаты друг к другу. После укладки базы так же, как и в первом случае,

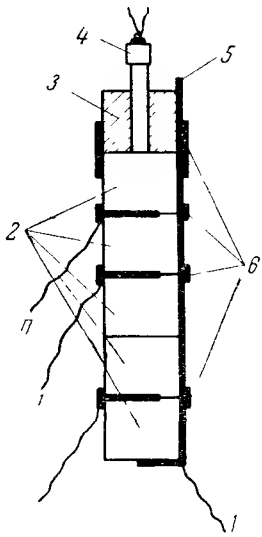

Рис. 41. Сборка заряда из прессованных шашек для измерения по схеме с пусковым датчиком:
1 — провода от датчиков; *П* — провод пускового датчика, *2* — шашки ВВ; *3* — пробка: *4* — электродетонатор; *5* — лодочка из жести или латуни; *6* — изоляционная лента

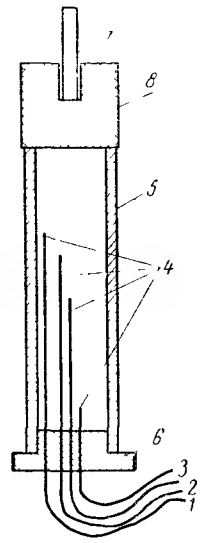

Рис. 42. Торцовое расположение датчиков для зарядов порошкообразных и жидких ВВ:
1 — проводник к заземлению. *2* — проводник пускового датчика; *3* — провода измерительных датчиков; *4* — стальные иглы; *5* — трубка; *6* — дно; *7* — электродетонатор; *8* — промежуточный детонатор

привязывают второй датчик, за которым прикрепляют еще одну шашку и пусковой датчик. Далее укладывают еще одну или несколько шашек, для того чтобы скорость детонации достигла стационарного значения к моменту, когда фронт ее дойдет до начала базы измерения. Необходимая длина участка разгона между электродетонатором и базой измерения зависит от рода ВВ, его плотности и т. д. Обычно для этого достаточно участка длиной, равной 3 диаметрам шашки. Поверх шашки к желобку прикрепляют пробку с отверстием для электродетонатора. Для подвешивания заряда в бронекамере к желобку привязывают отрезок шпагата длиной 50—60 *см*. Подготовленный таким образом заряд имеет четыре конца проводов: один от желобка (общий провод) и три от датчиков (пусковой и два сигнальных). Эти про-

водники припаивают к соответствующим контактам штепсельного разъема, в качестве которого можно применить колодку с контактами и цоколь от электронной лампы. Такой разъем позволяет легко и быстро соединять проводники на месте взрыва.

б) Заряды порошкообразных и жидких ВВ

Отличия в устройстве датчиков и зарядов не принципиальны, но связаны с бо́льшим или меньшим удобством применения той или иной конструкции для разных типов ВВ. Помимо описанных ниже, возможны различные другие схемы устройства датчиков.

Для измерения скорости детонации зарядов порошкообразных ВВ при плотности, близкой к насыпной, часто применяют торцовые датчики, схема которых изображена на рис. 42.

В качестве оболочки заряда используют трубку из стекла, пластмассы, картона или металла. Снизу трубка закрыта пластмассовым дном с укрепленными в нем тонкими стальными иглами, расстояние между остриями которых измеряют с точностью до 0,01 *мм*. Измерение производят измерительным микроскопом, если трубка прозрачна, или микрометрическим глубомером. Одна из игл служит общим проводом, другая — образует с ней пусковой датчик, а остальные — измерительные датчики. В случае металлической трубки, ее можно использовать в качестве общего провода. Инициируют взрыв электродетонатором, как показано на схеме, или через промежуточный детонатор.

После подготовки трубки, установки в ней датчиков и измерения расстояния между ними тщательно измеряют внутренний объем трубки. Исходя из объема трубки и заданной плотности, определяют навеску ВВ. Отвешенное количество ВВ насыпают в трубку частями и уплотняют встряхиванием или деревянным пуансоном до получения нужной плотности. Для получения равномерной плотности рекомендуется разбить рабочий участок трубки на несколько отрезков. Измеряют объем каждого отрезка и готовят заряд ВВ в виде нескольких навесок, соответствующих объему каждого отрезка. Заряд уплотняют по частям так, чтобы каждая навеска занимала определенный участок трубки.

Торцовые датчики описанного типа можно применять и для жидких ВВ. Пластмассовое дно в этом случае лучше заменить резиновой пробкой.

Для жидкостей можно также применить конструкцию, показанную на рис. 43. Стеклянную кювету (отрезок трубки с запаянными плоскими торцами и вырезом вдоль боковой поверхности) укрепляют на деревянной планке горизонтально, вырезом вверх. В кювету впаяны четыре металлических ввода, играющих ту же роль, что и иглы на схеме рис. 42.

В опытах с жидкими зарядами малых диаметров иногда применяют упрощенный торцовый датчик, состоящий из нескольких свитых вместе отрезков тонкой медной проволоки разной длины в винифлек-

совой изоляции. Работает такой датчик так же, как описанные выше датчики из игл.

При измерении скорости детонации детонирующего шнура датчик тоже образуют стальными (швейными) иглами, но торцовое расположение их оказывается невозможным. В этом случае иглы укрепляют попарно на расстоянии 1—2 *мм* в пластмассовой или деревянной колодке, так чтобы острия их выступали на 3—4 *мм*. К одной из игл каждой пары припаивают общий провод (заземление), а к другим — проводники пускового и измерительных датчиков. Иглы втыкают с помощью колодочек в шнур на точно измеренном расстоянии.

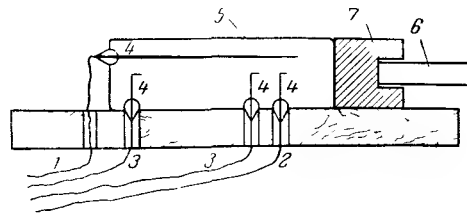

Рис 43. Схема расположения датчиков в жидком заряде:

1 — провод заземления; *2* — провод пускового датчика; *3* — провода измерительных датчиков; *4* — провода, впаянные в стекло; *5* — стеклянная кювета; *6* — электродетонатор; *7* — промежуточный детонатор

Подготовка осциллографа

Для подготовки осциллографа к опыту нужно последовательно выполнить следующие операции.

а) Осциллограф ОК-17 М

1) Включить блок питания осциллографа в сеть, тумблер «сеть» на самом приборе поставить в положение «вкл».

2) Включить питание генератора стандартных сигналов, для чего тумблер «сеть» на приборе поставить в положение «вкл»; через 3—5 *мин* поставить тумблер «анод» в положение «вкл».

3) Через 10—15 *мин* после включения осциллографа отрегулировать яркость и фокусировку обоих лучей так, чтобы пятна на экране были круглыми и минимальными по размерам. Затем, нажимая кнопку «готовность», подрегулировать яркость и установить наилучшую фокусировку развертки.

4) Вращая ручки осей горизонтального и вертикального перемещения лучей, установить светящиеся пятна в левой части экрана возле самого его края на расстоянии 10 *мм* друг от друга по вертикали.

5) Установить необходимую длительность развертки (грубо 1, плавно 8) и проверить срабатывание развертки нажатием кнопки «готовность». Красная неоновая лампочка должна загореться, что сигнализирует о готовности схемы развертки к действию.

6) Установить диафрагму объектива фотоаппарата 1 : 2,0, а расстояние на шкале 2,3 *м*. Зарядить фотоаппарат пленкой и укрепить его в фотонасадке.

7) Проверить срабатывание электромагнита и открытие затвора при нажатии кнопки на щите подрывов, после чего перевести один кадр пленки.

б) Осциллограф ИВ-22

1) Включить стабилизатор напряжения в сеть. Тумблер «сеть» на лицевой панели осциллографа поставить в положение «вкл». При этом загораются лампочки, указывающие на наличие питающего напряжения, и отклоняется стрелка вольтметра при наличии ускоряющего напряжения.

2) Через 10—15 *мин* после включения осциллографа увеличить яркость до появления на экране трубки круга и, действуя ручками регулировки размеров, придать ему правильную форму. Диаметр круга регулируют по прозрачному эталону, помещаемому на экран трубки. Вращением ручек «смещение» установить круг в центре экрана.

3) Убавить яркость до исчезновения круга и поставить переключатель в положение «контроль». При этом на экране должна периодически появляться спиральная развертка.

4) Вращением ручки «фокусировка» сделать развертку наиболее резкой.

5) Переключатель работы поставить в положение «работа».

6) Установить диафрагму объектива фотоаппарата 1 : 2,8, а расстояние на шкале 1 *м*, зарядить фотоаппарат и вставить его в обойму.

7) Проверить срабатывание магнита включением переключателя «затвор» и перевести один кадр пленки.

Проведение взрыва

В зависимости от величины заряда взрыв производят в защитном сосуде, находящемся в лаборатории, (заряды до 5 *г*) или в бронекамере.

Подготовленный заряд (проводники датчиков присоединены к колодке штепсельного разъема) без электродетонатора подвешивают соответственно в защитном сосуде или бронекамере и соединяют штепсельный разъем. Питание датчиков и осциллографа должно быть перед этим выключено. Зачищают концы проводов электродетонатора, замыкают их накоротко и после этого вводят электродетонатор в заряд. Замкнутые концы проводов электродетонатора выводят из защитного сосуда и закрывают его крышку, затягивая все болты. При опытах в бронекамере концы электродетонатора присоединяют к специальным клеммам.

Непосредственно перед взрывом включают питание осциллографа и электрической схемы датчиков и проверяют готовность прибора. Перед опытом сигнальная лампа «готов» на панели осциллографа должна светиться, в противном случае необходимо нажать кнопку «контроль», чтобы схему прибора привести в состояние «готов».

Для безопасного включения тока и синхронизации работы затвора с моментом взрыва применяют специальную электрическую схему,

основные элементы которой смонтированы на щите, заключенном в запирающийся кожух. Электрическая схема действует следующим образом: после отпирания кожуха включают питание щита, поворачивая выключатель специальным ключом, и нажимают на кнопку с надписью «взрыв», при этом замыкается цепь питания электромагнита, который нажимает на кнопку затвора фотоаппарата. Синхроконтакт фотоаппарата замыкает первичную обмотку смонтированного в щите реле, которое подключает напряжение к цепи электродетонатора. До включения тока в первичную обмотку реле обеспечивает замыкание взрывной цепи накоротко. Как только произошел взрыв, кнопку отпускают.

После взрыва выключают цепь питания датчиков, питание приборов и запирают щит подрыва. Затем проявляют, фиксируют, промывают и сушат пленку. Осциллограммы измеряют, рассматривая их через фотоувеличитель или по увеличенному позитиву.

Работа 13

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДЕТОНАЦИИ НА РАССТОЯНИЕ

Содержание работы

Если расположить на некотором расстоянии друг от друга два заряда ВВ и возбудить с помощью капсюля-детонатора детонацию одного из них, называемого активным зарядом, то при известных условиях может взорваться и другой заряд, называемый пассивным. Происходит передача детонации на расстояние. Это явление весьма сложно, и возникновение его зависит от многих факторов. Поэтому возбуждение взрыва пассивного заряда имеет вероятностный характер, так же как при возникновении взрыва от удара. Вероятность взрыва пассивного заряда обычно монотонно уменьшается с увеличением расстояния между зарядами. В связи с этим в качестве характеристики явления определяют критическое расстояние, на котором частность передачи детонации достигает некоторого характерного значения. В качестве последнего выбирают 0, 50 или 100%. Соответственно определяют минимальное расстояние, при котором передача отсутствует R_0, максимальное расстояние безотказной детонации R_{100} или расстояние, на котором частость взрывов пассивного заряда составляет 50% R_{50} [1].

Критическое расстояние передачи детонации позволяет характеризовать важные свойства ВВ или изготовленного из него заряда. Определяя это расстояние в соответственным образом выбранных условиях, можно, например, оценивать: сравнительную восприимчивость различных зарядов к взрывному импульсу (опыты с разными пассивными зарядами при одинаковых активных

[1] По методике, одобренной в 1962 г. совещанием ряда европейских стран (СССР, Англии, Бельгии, Франции, ГДР, ФРГ), для промышленных ВВ характеристикой считают так называемый коэффициент передачи, т. е. среднее расстояние между R_{100} и R_0 (в каждом случае по три опыта).

зарядах), сравнительную интенсивность начального импульса (разные активные заряды при одинаковых пассивных), надежность детонации составных зарядов в условиях практического применения (например, передача детонации через преграду или испытание при расположении зарядов в трубе, имитирующей

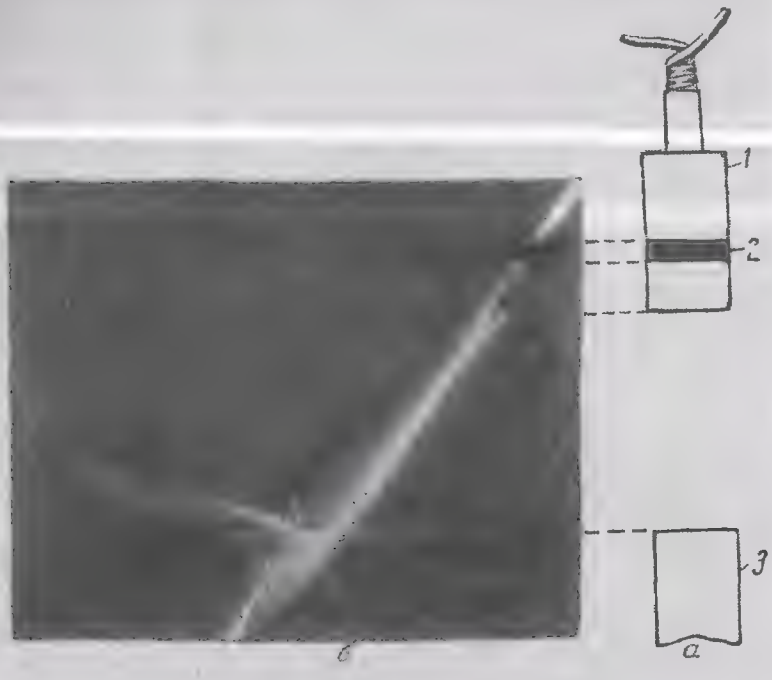

Рис. 44. Фоторегистрация передачи детонации:
а — схема расположения зарядов; *б* — фоторегистрограмма; *1* — активный заряд; *2* — непрозрачное кольцо; *3* — пассивный заряд

шпур) и т. д. Для взрывчатых смесей, в частности аммонитов, определенне расстояния передачи детоиации между патронами является чувствительным способом контроля качества: неблагоприятные изменения состава или технологии изготовления можно быстро обнаружить по уменьшению расстояния передачи детонации. Для изучения процессов возникновения и распространения взрыва, а также при решении многих прикладных задач исследуют влияние на расстояние передачи детонации характеристик среды, находящейся между активным и пассивным зарядами, а также условий расширения продуктов взрыва и распространения ударных волн.

Иятересные даиные о механизме явления можно получить, если при определении расстояния передачи детонации фиксировать световые явления с помощью фоторегистра с зеркальной разверткой (см. описание работы 11). Заряды располагают так, чтобы в поле съемки регистра находнлся конец активного заряда и начало пассивного. В качестве примера на рис. 44 приведена фоторегистрация передачи детонации между двумя зарядами из тетрила.

Методика проведения опытов

Для работы готовят не менее чем по 5 активных и пассивных зарядов. Род ВВ, диаметр, плотность и вес зарядов, а также наличие оболочки и другие условия опытов определяются задачами исследо-

вания. Во всех случаях диаметр зарядов должен быть заведомо больше критического. Активные заряды должны иметь углубление диаметром 7,5 *мм* и глубиной 10—15 *мм* для помещения капсюля-детонатора.

В настоящем практикуме предусмотрены пять вариантов расположения зарядов при определении расстояния передачи детонации: на стержне, на подкладке, в трубке без зазора, в трубке с зазором и с прокладками из листового материала.

1. Активный и пассивный заряды привязывают (рис. 45) к деревянному или тонкому стальному стержню (выпрямленный отрезок

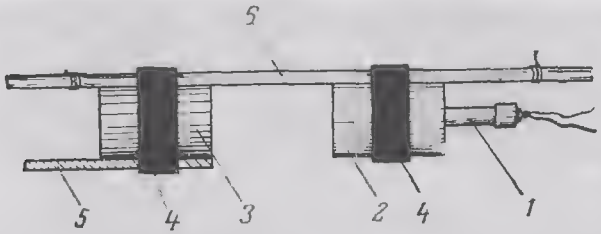

Рис. 45. Расположение зарядов на стержне при определении расстояния передачи детонации:
1 — электродетонатор; *2* — активный заряд; *3* — пассивный заряд; *4* — изоляционная лента; *5* — пластинка-«свидетель»; *6*—стержень для крепления зарядов

стальной проволоки диаметром от 2 до 5 *мм*, в зависимости от веса зарядов) и измеряют с точностью до 2 *мм* расстояние между ближайшими друг к другу торцами зарядов. Нужно следить, чтобы активный и пассивный заряды были расположены строго на одной оси, совпадающей с осью электродетонатора. Стержень помогает расположить заряды соосно и в то же время практически не влияет на само явление передачи детонации. О взрыве пассивного заряда судят по деформации стержня, к которому привязаны заряды, либо лучше по деформации дополнительной металлической пластинки-«свидетеля», прикрепленной перед опытом к пассивному заряду, как показано на рис. 45[1]. Перед взрывом стержень с зарядами подвешивают в бронекамере таким образом, чтобы расстояние от активного заряда до любой отражающей поверхности, например стенки или дна бронекамеры, по крайней мере, вдвое превышало расстояние между зарядами.

2. При выполнении опытов «на подкладке» активный и пассивный заряды укладывают по одной прямой на слое песка толщиной 5—7 *см* либо на деревянной планке или металлической полосе (в зависимости

[1] Пластинки-«свидетели» следует применять и при других вариантах выполнения работы. Для того чтобы судить о полноте детонации пассивного заряда, его помещают иногда на свинцовый столбик, как при определении бризантности (см. описание работы 22). Получаемое обжатие сравнивают с тем, которое вызывается взрывом такого же заряда при инициировании его капсюлем-детонатором.

от полученного задания). Расстояние между ближайшими торцами зарядов измеряют с точностью до 0,2 *см* и производят взрыв. О детонации пассивного заряда судят по деформации подкладки под ним.

3. Оба заряда помещают в трубку, внутренний диаметр которой равен диаметру заряда. Трубка может быть из бумаги, стекла, стали, ацетилцеллюлозной или другой пластичной пленки и других материалов. При опытах в прочных (например, стальных) трубах их укладывают перед взрывом на полу бронекамеры. В случае легких непрочных трубок (например, бумажных) лучше подвешивать их вдали от стен и дна камеры, чтобы избежать возможного влияния отражения ударных волн от этих поверхностей.

4. Заряды помещают в трубке, внутренний диаметр которой несколько больше диаметра заряда. При взрывании в трубе с зазором обнаруживается так называемый «канальный» эффект, заключающийся в том, что расстояние, на которое еще передается детонация, оказывается значительно меньше, чем при расположении зарядов в трубке без зазора или на открытом воздухе. Выбор материала трубки, диаметра заряда и величины зазора зависит от задач исследования. Для опытов с промышленными ВВ лучше брать патроны обычно применяемого диаметра (31—32 или 36—37 *мм*) и трубки с диаметром, равным соответствующим диаметрам шпура (38 — 40 или 42 — 45 *мм*).

5. Пятый вариант состоит в том, что между активным и пассивным зарядами помещают несколько слоев прокладок из однородного листового материала (бумага, картон, пластмасса, металл и др.). Параметром испытания служит в этом случае не расстояние, а число прокладок между зарядами. Этот вариант особенно подходит для испытания и отработки детонационных цепей, в которых детонация должна передаваться от одного элемента к другому (например, от промежуточного детонатора к основному заряду) через твердую преграду. Опыты удобно выполнять, устанавливая пассивный заряд на металлический лист или свинцовый столбик, служащие для фиксации результата. На заряд кладут необходимое количество прокладок, нарезанных в виде квадратов со стороной не менее двух диаметров заряда. Поверх прокладок устанавливают активный заряд так, чтобы капсюль-детонатор и оба заряда располагались на одной оси.

При всех вариантах расположения зарядов расстояние R_0 или R_{100} должно быть подтверждено не менее, чем тремя параллельными опытами. Эти расстояния обычно устанавливают с точностью до 0,5 *см*, если они не превышают 3 *см*, с точностью до 1 *см* в интервале от 3 до 10 *см* и с точностью до 2 *см* для расстояний больше 10 *см*.

Общее число опытов можно сократить, если, пользуясь артиллерийским термином, «брать цель в вилку». Например, при определении R_0 на расстоянии 4 *см* пассивный заряд детонировал. В следующем опыте расстояние увеличивают не на 1 *см*, а сразу на 4 или 5; на этом расстоянии повторяют опыты до получения трех отказов или до первого случая детонации. В дальнейшем, соответственно, продолжают испытание при некотором промежуточном интервале либо еще раз увеличивают расстояние скачком на 5—6 *см*.

При исследовательских работах для получения достоверного результата число параллельных опытов обычно берут больше трех, особенно при опреде-

лении R_{50}. Чтобы найти R_{50} с возможно большей точностью при минимальном числе опытов, в последнее время часто применяют статистически обоснованный метод постановки опытов, называемый «вверх и вниз». По этому методу большая часть опытов оказывается выполненной при расстояниях близких к R_{50}.

Метод заключается в следующем[1]. Выбирают шкалу расстояний между активным и пассивным зарядами для серии последовательных опытов таким образом, чтобы интервалы между соседними точками шкалы были постоянными в логарифмическом масштабе. Иначе говоря, если x_1, x_2, x_3,... x_n — последовательные значения расстояний по выбранной шкале, то должно выполняться условие:

$$\lg x_2 - \lg x_1 = \lg x_3 - \lg x_2 = \ldots = \lg x_n - \lg x_{n-1} = d.$$

Для испытания обычных патронов промышленных ВВ можно принять d от 0,03 до 0,10 (десятичные логарифмы, расстояния в *см*). В зависимости от ожидаемого значения R_{50} можно ориентировочно выбрать d по приведенной ниже таблице. В дальнейшем будет указан способ проверки правильности выбора величины d.

Таблица

Ориентировочные значения d в зависимости от ожидаемого значения R_{50}

R_{50} в *см*	d в единицах логарифмической шкалы	R_{50} в *см*	d в единицах логарифмической шкалы
<5	0,10	8—16	0,05
5—8	0,08	>16	0,03

Первый опыт проводят при некотором, произвольно выбранном, расстоянии между зарядами x_i. Если пассивный заряд детонировал, то в следующем опыте берут ближайшее по шкале большее расстояние x_{i+1}, в случае отказа — ближайшее меньшее расстояние x_{i-1}.

Таким образом продолжают испытание, увеличивая или уменьшая расстояние между зарядами в очередном опыте в зависимости от результата предыдущего опыта. Всего проводят не менее 20 опытов (при точных работах 40—50 опытов). Подсчитывают отдельно общие числа случаев передачи и отказов во всей серии опытов и для дальнейших вычислений используют меньшее из этих чисел, обозначаемое буквой N. Величину R_{50} находят по формуле

$$\lg R_{50} = \lg x_0 + d\left(\frac{A}{N} \pm \frac{1}{2}\right), \qquad (1)$$

где x_0— наименьшее расстояние, при котором в серии опытов был получен результат данного рода (передача или отказ). В скобках берут знак «—», если N — число отказов, и знак «+», если N — число случаев передачи. A находят по формуле

$$A = \sum_{i=0}^{i=k} i\, n_i\,, \qquad (2)$$

где $i=1, 2, 3,\ldots k$, причем $i=0$ для x_0 и $i=k$ для наибольшего в данной серии расстояния $x_к$, при котором был хотя бы один случай отказа или передачи детонации (соответственно выбору числа N), а $n_0, n_1, n_2,\ldots n_x$ числа результатов данного рода (передача или отказ), при расстояниях между зарядами $x_0, x_1, x_2,\ldots x_k$ соответственно.

[1] Обоснование метода, условия его применимости и вывод приводимых ниже формул см. в курсах математической статистики.

В заключении расчета необходимо проверить правильность выбора условий опытов. Как доказывается в курсах математической статистики, полученный результат можно считать достоверным, если выполняются условия:

$$0{,}5 < \frac{1}{1{,}62\left(\frac{NB - A^2}{N} + 0{,}029\right)} < 2 \tag{3}$$

и

$$\frac{NB - A^2}{N} > 0{,}3. \tag{4}$$

В формулах (3) и (4)

$$B = \sum_{i=0}^{i=k} i^2 n_i,$$

а остальные буквы имеют то же значение, что и в формулах (1) и (2).

— · —

Глава IV

НАЧАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

(*Уч.* V, *1—3*, 263—338)

Работа 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ К УДАРУ

Принцип метода

Характеристикой чувствительности ВВ к удару обычно служит энергия удара, необходимая для возбуждения взрыва. Эту величину определяют экспериментально, подвергая небольшую навеску ВВ удару падающим грузом в определенных условиях.

В связи с тем, что возникновение взрыва при ударе имеет вероятностный характер, опыты при одной и той же энергии удара производят многократно. В качестве характеристики чувствительности ВВ обычно применяют:

1) Частость возникновения взрывов при постоянных весе груза и высоте падения. Так, по ГОСТ 4545—48 характеристикой чувствительности вторичных ВВ считают процент взрывов, наблюдаемый в 25 опытах при падении груза в 10 *кг* с высоты 25 *см*.

2) Минимальную высоту падения груза, при которой происходит взрыв. По ГОСТ 4545—48 так характеризуют чувствительность промышленных ВВ, применяя груз в 2 *кг*. Для того чтобы найти минимальную высоту, при которой получается взрыв, очевидно, необходимо определить также ближайшую к ней меньшую высоту, при которой во всех параллельных опытах получают отказы; эту высоту, в случае инициирующих ВВ и пиротехнических составов (ГОСТ 2039—43), называют нижним пределом чувствительности.

3) Минимальную высоту падения определенного груза, при которой взрывы возникают во всех опытах. В случае инициирующих ВВ и пиротехнических составов, такую характеристику называют верхним пределом чувствительности.

Используют и другие характеристики чувствительности (кривая частости взрывов в зависимости от высоты падения груза, высота падения, при которой эта частость равна 50%, и др.

Наряду со случаями взрывов (вся навеска ВВ взорвалась) и отказов (ВВ осталось практически неизменным), в опытах наблюдают и неполные взрывы, когда часть ВВ остается неразложившейся. При подсчете результатов испытания случаи, когда наблюдаются явные признаки начавшегося, но затухнувшего взрывчатого превращения, условно считают взрывами Все наблюдения, сделанные при таких опытах (звуковой эффект, дым, изменение окраски ВВ, доля разложившегося вещества и т. п.), нужно фиксировать в журнале. Они могут дать важные дополнительные данные о чувствительности ВВ.

В настоящем практикуме в качестве основных характеристик чувствительности приняты те, которые предусмотрены ГОСТ 4545—48. При учебных опытах определение минимальной высоты падения, дающей хотя бы один взрыв, выполняют, уменьшив число параллельных опытов до 6.

Испытание производят на копре, состоящем из направляющих, груза, который может закрепляться на определенной высоте и при освобождении падать между направляющими, и массивной наковальни. На рис. 46 и 47 показаны два копра, применяемые для определения чувствительности вторичных ВВ.

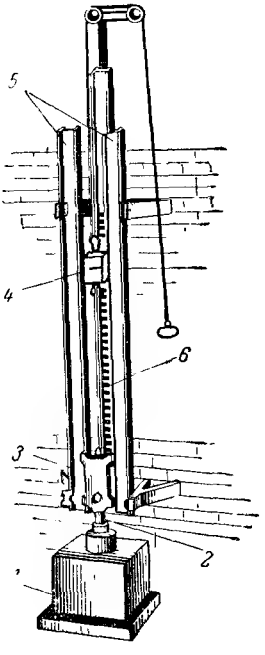

Рис. 46. Копер по ГОСТ 2065—43 для испытания вторичных ВВ (копер Каста):
1 — наковальня; *2* — приборчик; *3* — груз; *4* — держатель груза; *5* — направляющие; *6* — зубчатая рейка

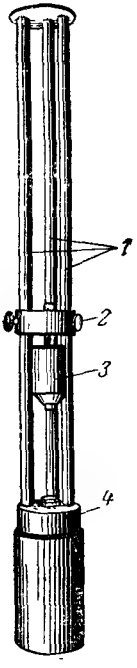

Рис. 47. Копер К-44-П для испытания вторичных ВВ (конструкция Куйбышевского индустриального института):
1 — направляющие; *2* — держатель груза; *3* — груз; *4* — наковальня

Если помещать навеску ВВ непосредственно на поверхность наковальни, то практически невозможно обеспечить воспроизводимые условия удара в разных опытах. В связи с этим навеску ВВ помещают в специальный приборчик, состоящий из муфты и двух стальных поршеньков, в качестве которых применяют подшипниковые ролики.

Возникновение взрыва связано с образованием при ударе местных очагов разогрева во взрывчатом веществе и дальнейшим ускорением начавшейся в них реакции. Как установлено работами Н. А. Холево, основной путь возникновения очагов разогрева — это течение ВВ при ударе. Возможность течения вещества при ударе и характерис-

тики процесса течения, определяющие образование очагов разогрева, зависят, с одной стороны, от текучести ВВ, а с другой — от устройства приборчика. Чтобы полнее характеризовать чувствительность ВВ при разных условиях течения, применяют несколько вариантов конструкции приборчика.

Устройство приборчиков и методика испытания

а) Приборчики № 1, № 2 и по ГОСТ 2065—43

Устройство приборчиков. На рис. 48 показано устройство приборчиков № 1 и № 2 для испытания чувствительности ВВ к удару по Н. А. Холево. Оба приборчика состоят из стальных роликов диаметром 10 *мм*, направляющей обоймы и поддона. Обращенные друг к другу торцы роликов шлифованы так, чтобы кромки их не имели

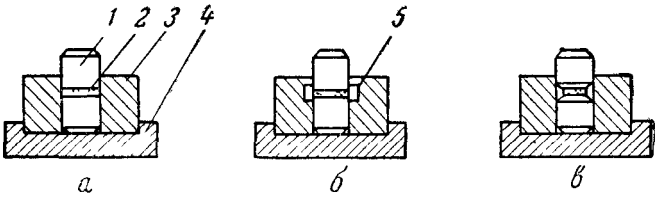

Рис 48 Приборчики для испытаиия ВВ иа чувствительность к удару:
а и *б* — приборчики № 1 и № 2 по Н. А. Холево *в* — приборчик по ГОСТ 2065-43; *1* — ролики; *2* — ВВ; *3* — направляющая обойма; *4* — поддон; *5* — канавка

притуплений или фасок. Канал обоймы хорошо шлифован, и диаметр его лишь незначительно (на 20—40 микрон) превышает наружный диаметр ролика. Приборчик № 2 (рис. 48*б*) отличается от приборчика № 1 (рис. 48*а*) наличием канавки в канале обоймы на уровне стыка роликов. Благодаря этой канавке существенно облегчается истечение ВВ из зазора между торцами роликов. В приборчике № 1, где ВВ может вытекать только в узкий зазор между роликом и каналом обоймы, течение затруднено.

Приборчик, предусмотренный ГОСТ 2065—43 (рис. 48*в*), отличается от приборчика № 1 только тем, что обращенные друг к другу торцы роликов имеют фаски (скругления радиусом 0,5 *мм*). Фаски образуют кольцевой зазор, который выполняет в некоторой степени ту же роль, что и канавка в приборчике № 2. Ввиду малых размеров кольцевого зазора, приборчик, предусмотренный ГОСТом, по условиям течения ВВ занимает промежуточное положение между приборчиками № 1 и № 2.

Выполнение испытания. Испытания в приборчиках № 1 проводят следующим образом.

Подбирают необходимое число приборчиков, тщательно проверяя состояние рабочих поверхностей и соответствие диаметров роликов

и канала обоймы. Ролики и обоймы очищают от следов смазки или остатков ВВ, протирая их марлей, промывая бензином и ацетоном и вытирая насухо. Обоймы ставят в поддоны и помещают в них по одному ролику. Для испытания отвешивают на аптекарских весах нужное число навесок ВВ по $0{,}05 \pm 0{,}005$ *г*. Навеску аккуратно всыпают в канал обоймы, равномерно распределяют ВВ по поверхности нижнего ролика и вставляют верхний ролик. Собранный приборчик с навеской ВВ устанавливают на наковальню копра и фиксируют с помощью центрирующей муфты. Груз предварительно закрепляют на нужной высоте, отсчитываемой по линейке копра.

Потянув шнурок или нажав рычаг держателя, освобождают груз, который, падая, производит удар по ролику. Опыт повторяют нужное число раз, каждый раз применяя новую навеску ВВ в чистом приборчике.

Для более надежной оценки чувствительности рекомендуется параллельно с исследуемым ВВ испытывать в качестве эталона какое-либо близкое ему по чувствительности, хорошо изученное ВВ (тротил, тетрил, тэн, гексоген и т. п.). При этом опыты с испытуемым и с эталонным ВВ целесообразно чередовать.

Для испытаний применяют грузы в 2, 5 и 10 *кг*. Поскольку слишком сильные удары быстро выводят копер из строя, не разрешается сбрасывать эти грузы с высот более чем 100, 40 и 25 *см* соответственно.

Испытание в приборчиках по ГОСТу проводят так же, как в приборчике № 1, только применяют ролики с фасками.

Для засыпки ВВ в приборчик № 2 направляющую обойму вкладывают в поддон вверх дном, тогда вставленный в нее ролик закрывает канавку и ВВ не может в нее просыпаться. После введения второго ролика, надевают на шайбу второй поддон и перевертывают всю сборку так, что верхний ролик становится нижним. При этом торцы роликов, между которыми находится ВВ, располагаются как раз против канавки.

Большое значение имеет чистота применяемых приборчиков (муфт и роликов). После опытов внутренний канал муфты очищают с помощью пасты ГОИ. Для этого можно применять электромотор, на оси которого прикрепляют втулку с марлей с нанесенной на нее пастой. Затем муфту промывают бензином и ацетоном и протирают марлей. Ролики после отказов используют многократно, каждый раз тщательно промывая их от остатков ВВ; после взрывов, если обожжена только торцевая поверхность, можно повторно применять ролики после шлифования торцов.

б) Приборчик № 4

Устройство приборчика. В приборчике № 1 взрыв происходит в осиовиом в зазоре между роликами и муфтой. Возиикиовеиие взрыва зависит от ширины максимальиого зазора, которая может иезакономерио меняться от опыта к опыту из-за смещеиия оси роликов отиосительио оси канала муфты. Каиал муфты в принципе должеи служить только иаправляющей для движения ролика и поэтому к размерам (диаметру) и обработке поверхиости его предъявляют высокие требоваиия. Поскольку фактически в канале возиикает взрыв, то горячие газы

быстро эродируют каиал и делают его мало пригодиым для направления движения ролика. В известиой мере это отиосится и к приборчику № 2; хотя взрыв в ием и происходит в каиавке, ио газы могут выходить только через канал и также вызывают его эрозию.

К. К. Аидреев и Ю. А. Теребилииа измеиили коиструкцию приборчика так, чтобы горячие газы взрыва ие попадали в каиал иаправляющей муфты и ие вызывали его быстрого изиоса.

Устройство приборчика изображеио иа рис. 49. Главиое отличие приборчика № 4 заключается в том, что размеры роликов в ием увеличены (d=19 *мм*) и канал муфты на уровие стыков роликов открыт, так что взрывчатое вещество выбрасывается при истечеиии в иеограиичеииое пространство.

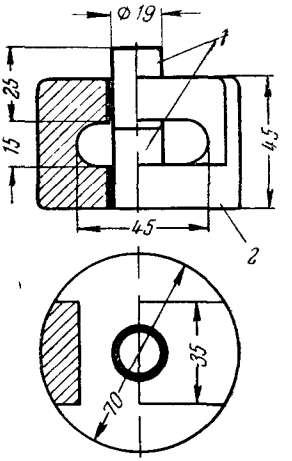

Рис. 49 Приборчик № 4:
1 — ролики, *2* — корпус обоймa

Одии приборчик № 4 позволяет получить характеристику чувствительности, которую дают оба приборчика: № 1 и № 2. Для этого испытание проводят при различиом расположеиии иавесок ВВ иа торце нижиего ролика (равиомериый тоикий слой или маленькая кучка в цеитре ролика) и при разиой величиие иавесок.

Когда малеиькая навеска расположеиа иа ролике равиомерио в виде тоикого слоя, реализуются иаиболее иапряжеииые условия течеиия. Если ВВ имеет большую текучесть, но взрывчатость его велика, то оио будет взрываться при этом варианте испытаиия аналогично тому, что имеет место в приборчике № 1. При цеитральном расположеиии иавески, особеино когда оиа велика, иапротив, реализуются иаиболее благоприятиые условия для течеиия; если ВВ при иных условиях опыта не взрывалось из-за иедостаточной его текучести, то при даиом вариаите испытания оно будет давать взрывы так же, как в приборчике № 2. Таким образом, испытание позволяет получать взрывы как для легкотекучих, так и для трудиотекучих ВВ, устаиавливая при этом, в каких именно условиях — облегчеиного или затрудиеиного течеиия — больше частость возиикиовеиия взрыва.

Выполнение испытания. Подготовка приборчика № 4 к испытаиию заключается в осиовном в правильном размещеии соответствующей иавески иа торце нижнего ролика. Равномериого распределения вещества по всему торцу достигают миогократиым поворотом верхиего ролика при легком нажатии на него. Центральное расположение получают с помощью специальной пластмассовой матрицы с диаметром каиала 5 *мм*, помещаемой иа верхием торце иижиего ролика. Необходимое количество ВВ, помещеиное в матрицу, слегка подпрессовывают пластмассовым пуаисоиом, после чего снимают матрицу с ролика. Вещество остается в центре его торца в виде таблетки диаметром 5 *мм*.

Для более полиой характеристики чувствительности ВВ с различными физико-механическими и термокинетическими свойствами предусмотрено четыре вариаита испытания в приборчике № 4. Эти варианты состоят в исследоваии двух различиых иавесок ВВ—0,01 и 0,05 *г* — при двух указаиных выше способах расположеиия каждой из иих иа торце ролика. Для каждого из вариантов проводят 25 параллельных опытов, примеияя груз 10 *кг* и высоту падения 25 *см*, и определяют частость возиикиовения взрыва. При исследовании нового ВВ рекомендуется параллельио проводить сравиительиое испытание с каким-либо хорошо изученным ВВ, близким к испытуемому по свойствам.

Испытание иачииают с навески в 10 *мг* при равиомерием ее распределении на ролике. Высокая частость взрывов в этих условиях указывает иа большую чувствительиость ВВ. Малая частость взрывов может иметь место по двум причинам: 1) вещество термокинетически малочувствительно и ие взрывается в тои-

ком слое; 2) его текучесть мала, и оно не течет в тех затруднениых условиях течения, которые реализуются при ударе по тонкому слою большой площади.

Чтобы выяснить, какая из этих причин играет роль в исследуемом случае, повторяют определение при центральном расположении такой же навески, когда обеспечивается большее давление при ударе и облегчается течение. Если частость взрывов при центральном расположении навески увеличивается, то отсутствие их или малая частость при равномерном распределении являются следствием малой текучести.

Малая частость взрывов при навеске 10 *мг* как при равномерном, так и при центральном ее расположении, однако, еще не означает, что ВВ имеет низкую чувствительность. Это может быть обусловлено и тем, что при малой навеске слой вещества тоньше, чем необходимо для распространения горения или взрыва. В связи с этим при получении малой частости взрывов навесок в 0,01 *г* испытание повторяют с навеской ВВ, увеличенной до 0,05 *г*. Вещество малочувствительное по-прежнему не будет давать взрывов, вещество большой чувствительности начнет их давать с большой частостью.

Испытание с увеличением до 50 *мг* навеской позволяет также по величине отскока груза при отказах судить о текучести вещества. Если текучесть мала и при ударе течения ВВ не происходит, то затрата энергии на выдавливание вещества незначительна и отскок велик. С другой стороны, отскок, уменьшенный по сравнению с тем, который наблюдается при холостом ударе, дает возможность убедиться, что течение вещества имеет место и если при этом получаются отказы, то причина их не в отсутствии течения. Большой отскок может, однако, получаться и при относительно высокой текучести, когда затрата энергии на выдавливание вещества также мала.

Меры предосторожности

1. В случае отказа приборчик разбирают, выдавливая ролики с помощью специального пресса.
2. Перед каждым сбрасыванием груза следует предупреждать работающих в комнате о предстоящем взрыве.

Работа 15

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ К ТРЕНИЮ РАСТИРАНИЕМ В СТУПКЕ

Для предварительной качественной оценки чувствительности ВВ к трению применяют простейшую пробу, заключающуюся в растирании 0,05 *г* исследуемого ВВ в фарфоровой ступке фарфоровым пестиком. Рабочие поверхности ступки и пестика должны быть неглазурованы. При опыте фиксируют наличие или отсутствие взрыва, а также появление тех или иных признаков разложения ВВ (потрескивание, запах гари, изменение окраски и т. д.).

Понятно, что испытание является лишь качественным, весьма грубым и результаты его имеют субъективный характер. Применение его при наличии других, более точных методов оценки чувствительности к трению оправдано лишь крайней простотой и быстротой испытания, а также большей наглядностью получаемых результатов.

Меры предосторожности

Испытание проводят в защитных очках. Не разрешается без письменного указания преподавателя применять навески более 50 *мг*.

Работа 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ К ТРЕНИЮ (СКОЛЬЗЯЩЕМУ УДАРУ) НА КОПРЕ К-44-III

Сущность метода

В условиях производства и применения ВВ могут чаще подвергаться не нормальному, а скользящему удару, вызывающему трение между частицами ВВ или между ними и поверхностями соударяющихся тел. Как известно, и при нормальном ударе возникновение взрыва обусловлено обычно трением, возникающим в сжатом ударом и текущем вследствие этого веществе. Однако чувствительность ВВ к трению и удару не тождественны. При действии нормального удара возникновение трения определяется, главным образом, текучестью ВВ. Если последняя мала, то высокая чувствительность ВВ к трению может не проявиться в условиях испытания нормальным ударом даже в приборчиках № 2 или № 4. При скользящем ударе трение, испытываемое частицами вещества, вызывается принудительно, и взрыв может возникнуть и при малой текучести ВВ.

Для количественной оценки чувствительности ВВ к трению применяют маятниковый копер К-44-III. Устройство основного узла этого копра схематически показано на рис. 50. Навеска ВВ зажата между двумя стальными роликами. Пуансон, связанный с поршнем гидравлического пресса, передает давление на слой ВВ. Для испытания применяют стальные подшипниковые ролики диаметром 10 *мм*. При ударе падающего груза-маятника по ударнику верхний подвижный ролик перемещается в направлении, показанном стрелкой, подвергая навеску ВВ действию быстрого сдвига.

Сила трения возрастает с увеличением нормального давления; соответственно возрастает работа трения, вероятность возникновения эффективных очагов разогрева, возможность распространения горения и, в конечном счете, вероятность возникновения взрыва. Так же, как при действии нормального удара, возникновение взрыва от скользящего удара имеет вероятностный характер. Если давление прижатия меньше некоторой характерной для данного ВВ величины, частость возбуждения взрыва равна нулю. При увеличении давления прижатия частость возникновения взрывов в серии параллельных опытов возрастает и при некотором значении давления становится равной 100%.

Испытания проводят с постоянным грузом (1,5 *кг*). Энергию удара можно менять, изменяя высоту падения (угол отклонения) маятника. Чувствительность испытуемого ВВ лучше всего характеризовать, построив полную кривую в координатах: частость взрывов — давление прижатия (5—10 точек, по 10—20 опытов для каждой, при постоянной высоте падения маятника). Можно, так же как при определении чувствительности к удару, в качестве меры чувствительности принять критическое давление, при котором частость взрывов достигает определенного значения (0, 50 или 100%).

Некоторым недостатком прибора в принципе является возможность перекоса подвижного ролика при ударе в связи с разницей сопротивлений на верхнем и нижнем его торцах (сопротивление на верхнем торце определяется трением стали о сталь, а на нижнем — внутренним трением в ВВ и внешним трением стали по ВВ). Фактически на ВВ может действовать поэтому не только трение, но сочетание трения и удара края верхнего ролика о торец нижнего.

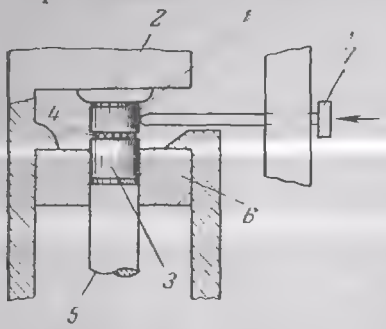

Рис. 50. Рабочий узел копра К-44-III:

1 — подвижный ролик; *2* — упор; *3* — неподвижный ролик; *4* — ВВ; *5* — пуансон для передачи давления пресса на ролик; *6* — муфта; *7* — стержень с головкой, передающий удар

На приборе К-44-III можно определять чувствительность к трению взрывчатых веществ (инициирующих, вторичных), порохов и пиротехнических составов. При исследовании новых ВВ рекомендуется проводить их испытания параллельно с хорошо изученными ВВ близкой чувствительности.

Устройство копра и подготовка опыта

Копер К-44-III показан на рис. 51. Гидравлический пресс работает от масляного насоса, который имеет два цилиндра и два поршня различных диаметров. Для создания давлений до 10 *ат* пользуются поршнем большого диаметра; когда нужно создать более высокое давление, работают меньшим поршнем. В корпусе прибора имеется окно для установки роликового приборчика и приспособление для выталкивания роликового приборчика после испытания. Перемещение подвижного ролика при опыте происходит под действием ударника, по головке которого наносится удар грузом, закрепленным на маятнике.

Для подготовки испытания последовательно выполняют такие операции: подбирают необходимое количество роликовых приборчиков (приборчик № 1 для испытания чувствительности к удару, см. работу 14, с роликами диаметром 10 *мм*, которые нужно очистить от смазки, промыть в ацетоне и вытереть насухо). Устанавливают нужный угол подъема маятника (высоту падения груза). Для этого отворачивают два винта на подвижном зубе храповика маятника, поднимают маятник до заданного угла по указателю и закрепляют подвижной зуб. Маятник удерживается в верхнем положении зубом шептала. Ударник выдвигают настолько, чтобы он не мешал установке роликового приборчика в гнездо корпуса. Внутреннее гнездо корпуса прибора очищают чистой тряпочкой, смоченной в ацетоне, и протирают насухо. Рукоятка съемца перед опытом должна находиться

в крайнем правом положении. Рукоятка выталкивателя роликового приборчика должна быть полностью выдвинута.

Проведение испытания

В роликовый приборчик между торцами роликов помещают навеску испытуемого ВВ (по заданию руководителя, как правило, 0,01—0,02 *г*) и разравнивают поворотом верхнего ролика без особых усилий.

Роликовый приборчик с навеской ВВ ставят на полочку и проталкивают через окно в корпусе прибора на подаватель. Закрывают вентиль насоса и подачей масла в гидравлический пресс поднимают плунжер. Подачу масла в пресс производят подъемом и опусканием рукояток поршней. Плунжер нажимает на пуансон, который с помощью пружины поднимает подаватель с роликовым приборчиком, до тех пор пока верхний ролик не будет прижат к упору прибора (*2* на рис. 50). В таком положении производят прессование испытуемого вещества до нужного давления, фиксируемого манометром. При расчете давления, которому подвергается навеска, учитывают, что диаметр плунжера пресса в 11 раз больше диаметра ролика. Давление на ВВ поэтому в 121 раз больше давления, измеренного манометром.

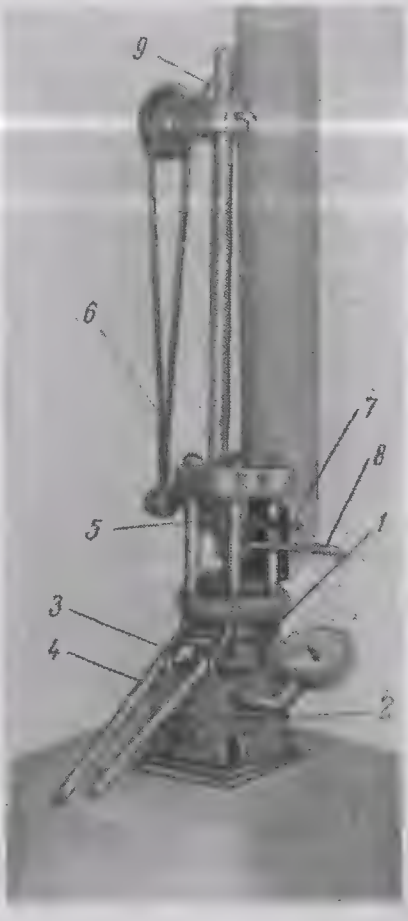

Рис. 51. Копер К-44-III:
1 — гидравлический пресс; *2* — масляный насос; *3* и *4* — поршни низкого и высокого давления; *5* — окно для установки приборчика; *6* — маятник с грузом; *7* — выталкиватель приборчика; *8* — рукоятка съемца для опускания обоймы приборчика; *9*—рукоятка шептала

По достижении нужного давления, приоткрывая вентиль, снижают давление до 10 *атм* по манометру и поворачивают рукоятку съемца влево до отказа; при этом лапки съемца захватывают обойму роликового приборчика и опускают ее вниз. В результате верхний ролик, навеска ВВ и часть нижнего ролика оказываются выше верхнего среза муфты. *Поворот рукоятки съемца без снижения давления приводит к поломке лапок и выходу из строя всего прибора.*

После опускания муфты давление вновь поднимают до нужной величины. Затем ударник подводят бойком к боковой поверхности верхнего ролика и нажатием на рукоятке шептала освобождают маятник.

При падении маятника груз его ударяет по головке ударника, который сдвигает верхний ролик по отношению к нижнему на постоянное расстояние, равное 2 *мм*. Навеска ВВ, зажатая в виде тонкого слоя между роликами, подвергается трению.

В качестве результата опыта фиксируют взрыв или отказ. Взрывом считают те случаи, когда наблюдается звуковой эффект, выделение дыма или следы разложения на рабочей поверхности ролика в виде закопченности.

После испытания маятник возвращают в первоначальное положение и поворотом вентиля снимают давление в прессе. Нажатием на выталкиватель извлекают из корпуса роликовый приборчик и заменяют его приборчиком, подготовленным для следующего опыта.

Меры предосторожности

1. Количество взрывчатого вещества в одной пробе не должно превышать 0,02 *г*.

2. В случае отказов взрывчатое вещество с роликов и с муфты тщательно счищают в бумажную коробочку и после окончания работы передают лаборанту для уничтожения.

Ролики и муфты промывают ацетоном, спиртом или другим растворителем и протирают насухо.

3. Работу проводят в защитных очках.

Работа 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ЗАДЕРЖКИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ВСПЫШКИ

Содержание работы

Вспышку ВВ при нагревании исследуют, помещая небольшую навеску в термостат с постоянной или медленно поднимающейся температурой. В условиях, когда вся навеска ВВ нагревается достаточно медленно и потому равномерно, механизм самовоспламенения близок к механизму теплового взрыва (*Уч.* II, *3*, 48—80). Температурой вспышки ВВ называют минимальную температуру термостата, при которой в определенных условиях наступает нарушение баланса теплоприхода и теплоотвода и возникает воспламенение. Температура вспышки является одним из показателей, характеризующих чувствительность ВВ к действию тепла.

Экспериментально определяемая температура вспышки не является абсолютной константой вещества, но зависит от условий опыта, в частности от тех, которые меняют теплоотдачу (величина навески, форма ее расположения, мате-

риал и толщина оболочки и др.). Существенно меняется также температура вспышки в зависимости от скорости нагрева ВВ, длительности пребывания навески при умеренных температурах и других факторов, определяющих развитие химического самоускорения реакций медленного термического разложения ВВ. В связи с этим для получения сравнимых результатов температуру вспышки определяют в постоянных условиях.

Методика определения сводится к тому, что навеску ВВ помещают в термостат, температуру которого поднимают с определенной скоростью. Температуру термостата в момент, когда произойдет самовоспламенение ВВ, считают его температурой вспышки.

Если нагревать ВВ при некоторой постоянной, достаточно высокой температуре, то самовоспламенение возникает не сразу, а после некоторого промежутка времени, называемого задержкой вспышки. Как показывает опыт, задержка вспышки обычно значительно превышает время развития чисто теплового самоускорения. Величина задержки определяется в основном временем развития реакций распада до скоростей, при которых возникает самовоспламенение. Для многих ВВ время задержки определяется накоплением в веществе достаточного количества продуктов, ускоряющих дальнейший распад. В работе предусмотрено определение задержки вспышки при различных температурах, а также нахождение максимальной температуры термостата, ниже которой разложение данной навески ВВ происходит без вспышки.

Наряду с температурой и задержкой, важной характеристикой вспышки ВВ является ее интенсивность. Для разных ВВ и различных условий самовоспламенения характер вспышки может меняться очень сильно — от беззвучного спокойного сгорания до взрыва с сильным звуком и заметным дробящим действием.

Определение интенсивности вспышки, с одной стороны, позволяет получить важные сведения о механизме этого сложного явления, а с другой — оценить опасность возникновения взрыва в результате самовоспламенения ВВ в условиях его производства, хранения или применения.

Достаточно полную характеристику интенсивности вспышки можно получить, записав с помощью соответствующего датчика всю кривую изменения давления по времени, естественно включающую и значение максимального давления. В настоящей работе в качестве первого приближения ограничиваются сравнительной характеристикой явления, причем в качестве меры интенсивности вспышки используют высоту (или энергию) подскока шарика, лежащего на отверстии пробирки, в которой происходит вспышка небольшой навески ВВ.

Проведение опытов

а) Определение температуры вспышки

В качестве термостата применяют железную баню диаметром 14 *см* и высотой 7 *см*, наполненную сплавом Вуда. Уровень сплава должен быть на 2 *см* ниже краев бани. Баня имеет крышку с тремя отверстиями для пробирок, симметрично расположенными относительно центра крышки, где имеется четвертое отверстие для термометра, погружаемого в баню на 50 *мм*. Для защиты термометра от повреж-

дений при интенсивных вспышках в центральном отверстии крышки укреплена металлическая дырчатая трубка.

Навески испытуемого ВВ помещают в сухие стеклянные пробирки. Величина навесок должна быть указана преподавателем, но, как правило, не должна превышать 0,05 *г* для инициирующих ВВ и 0,2 *г* для вторичных. Для каждого из исследуемых ВВ проводят не менее двух параллельных опытов.

Баню нагревают до 100°. При этой температуре в нее вставляют 2—3 пробирки с пробами ВВ на такую глубину, чтобы дно пробирок находилось на уровне шарика термометра. С этого момента температуру бани повышают со скоростью 20° в минуту. Нагревание ведут до момента вспышки, но не выше 360°. Отмечают температуру бани, при которой возникает вспышка в каждой из пробирок. Одновременно следует тщательно фиксировать все наблюдения за характером явления (характер и интенсивность звука, окраска и величина пламени, появление дыма или паров перед вспышкой, образование гари или сажи и т. п.).

По окончании опытов следует вынуть термометр из бани раньше, чем сплав Вуда затвердеет, в противном случае неизбежна поломка термометра.

б) Определение задержки вспышки и ее зависимости от температуры

Для определения задержки вспышки применяют термостат с электронагревом, наполненный какой-либо высококипящей жидкостью. В качестве термостата удобно применять также массивный металлический блок с 3—4 отверстиями, симметрично расположенными относительно поверхности нагрева. Эти отверстия заполняют сплавом Вуда. В одно из отверстий помещают термометр. Температуру термостата легко поддерживать постоянной с точностью до 1° с помощью автотрансформатора, включенного в цепь нагревателя.

Предварительно готовят навески ВВ (как правило, не более 0,05 *г* для инициирующих и не более 0,2 *г* для вторичных ВВ). После того как в термостате установится нужная температура, вставляют в его гнезда 1—2 чистые, сухие стеклянные пробирки и выжидают 1—2 *мин*, чтобы они приняли температуру термостата. Затем в пробирки всыпают через стеклянную воронку с широким, коротким тубусом или воронку из гладкой бумаги приготовленные навески ВВ. Одновременно с всыпанием каждой навески пускают в ход отдельный секундомер, который останавливают в момент вспышки. При данной температуре производят 2—3 параллельных опыта, а затем изменяют температуру термостата на 5—10° и опыты повторяют. Дальнейший подъем температуры прекращают, когда задержка вспышки достигнет 2—4 *сек*. Последовательно понижая температуру термостата, определяют также температуру, ниже которой разложение происходит в данных условиях без вспышки (минимальная температура самовоспламенения). В каждом опыте следует фиксировать не только температуру и время задержки вспышки, но также все наблюдения за характером вспышки и явлениями, предшествующими ей. По результа-

там опытов строят кривые зависимости задержки вспышки от температуры.

Если в задании предусмотрено определение интенсивности вспышки при разных температурах, то его целесообразно совместить с определением задержки вспышки.

в) Определение интенсивности вспышки

Схема проведения опытов показана на рис. 52. В стеклянную пробирку помещают навеску ВВ и вставляют пробирку в стальную гильзу. Зазор между стенками пробирки и гильзы закрывается резиновым уплотнением. Отверстие в гильзе закрывают свободнолежащим стальным или стеклянным шариком и вводят подготовленную таким образом пробирку в гнездо термостата. Предварительно температуру термостата устанавливают на нужном уровне, регулируя напряжение, питающее нагреватель, с помощью автотрансформатора. Одновременно с установкой пробирки в гнездо пускают в ход секундомер. В момент вспышки секундомер останавливают и одновременно определяют по шкале наибольшую высоту подскока шарика. Время задержки фиксируют с точностью до 0,1 *сек*, высоту подскока шарика — до 1 *см*.

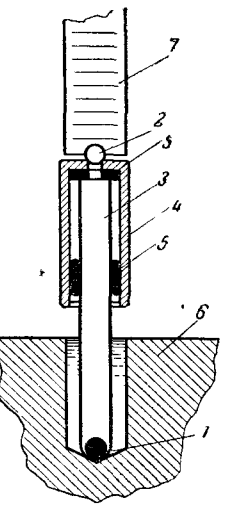

Рис. 52. Схема определения интенсивности вспышки ВВ:
1 — навеска ВВ; *2* — шарик; *3* — пробирка; *4* — стальная гильза; *5* — уплотнения; *6* — термостат; *7* — шкала

В зависимости от полученного задания проводят следующие серии опытов.

1. *Определение зависимости интенсивности вспышки от температуры термостата.* Определение начинают при минимальной температуре самовоспламенения (см. пункт 3) и заканчивают при температуре, при которой задержка вспышки не превышает 3 *сек*. Интервалы температуры между определениями 5—10°. При каждой температуре проводят 3—5 параллельных опытов. Величина навесок зависит от рода ВВ и задач исследования, при учебных опытах она должна быть задана преподавателем. По результатам опытов строят кривую в координатах: высота (или энергия) подскока шарика — температура.

В данной и последующих сериях все опыты по возможности проводят с одним и тем же шариком. Однако если интенсивность вспышки в различных опытах одной серии меняется очень значительно, то приходится применять шарики разной массы (например, стальной и стеклянный). Как было установлено специальными опытами, характеристикой интенсивности при этом может служить энергия подскока шарика, т. е. произведение его массы на максимальную высоту подскока.

2. *Определение влияния величины навески ВВ на интенсивность вспышки.* В зависимости от полученного задания определяют интен-

сивность вспышки разных навесок ВВ при одинаковой температуре либо проводят определение всей кривой «интенсивность вспышки — температура» для нескольких различных навесок (от 0,01 до 1 *г*).

3. *Определение критической температуры самовоспламенения.* Проводят ряд опытов при постепенном понижении температуры термостата. Определяют минимальную температуру, при которой в трех опытах еще происходят вспышки, и максимальную температуру, при которой не возникает ни одной вспышки в трех опытах. Критической температурой самовоспламенения считают среднюю между двумя этими температурами.

Возможны, по заданию преподавателя, и другие варианты постановки серии опытов, например с несколькими различными ВВ.

При всех вариантах постановки опытов должны быть тщательно фиксированы данные по интенсивности и задержке вспышки, а также результаты других наблюдений (появление пламени, окрашенных паров, дробление пробирки и др.). Удобно записывать результаты в виде таблицы, например:

Определение интенсивности вспышки _____
(наименование ВВ)

вес шарика _____ *г*

Навеска ВВ q, *г*	Температура термостата, t°C	Задержка вспышки τ, *сек*	Высота подскока шарика h, *см*	Энергия шарика E, *гсм*	Наблюдения, сделанные при опыте

По данным таблицы строят графики: $\tau—t$; $h—t$; $h—q$ или $E—t$ и $E—q$.

Меры предосторожности

1. При проведении опытов экспериментатор обязан одеть маску или защитные очки и по указанию преподавателя также защитную рукавицу.

2. Термостат должен стоять за щитом, ограждающим экспериментатора и окружающих от осколков стекла и брызг сплава Вуда. В случае испытания инициирующих ВВ, нитроэфиров или при опытах с навесками более 0,3 *г* вторичных ВВ ограждение должно быть со всех сторон.

3. После установки пробирки в нагретый термостат не разрешается трогать ее руками до момента вспышки. Если вспышки не произошло, то пробирку можно вынимать только щипцами.

4. Все ВВ, кроме навески, подготовленной для данного опыта, должны быть удалены перед опытом с рабочего места.

Работа 18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ ВВ

Сущность методов испытания

Воспламеняемость, т. е. способность ВВ загораться и устойчиво гореть в результате воздействия источника тепла с высокой температурой является важной характеристикой ВВ. Знание ее нужно для оценки опасности случайного загорания ВВ (пороха). С другой стороны, воспламеняемость надо знать, когда речь идет о веществах, горение и взрыв которых в условиях практического применения возбуждают действием пламени или нагрева (инициирующие ВВ, пороха, воспламенительные и промежуточные составы и т. п.).

Из теории известно, что количественно воспламеняемость можно характеризовать запасом тепла в прогретом слое ВВ при стационарном его горении. В случае летучих ВВ при отсутствии реакции в конденсированной фазе запас тепла определяется выражением:

$$Q_г = \frac{\eta}{u}(T_к - T_0), \qquad (1)$$

где η — теплопроводность ВВ,

u — линейная скорость горения,

$T_к$ — температура на поверхности конденсированной фазы горящего ВВ,

T_0 — начальная температура ВВ (температура окружающей среды).

Простейший способ экспериментального определения воспламеняемости взрывчатых веществ заключается в том, что устанавливают максимальное расстояние, на котором луч огня огнепроводного шнура еще вызывает воспламенение испытуемого ВВ. Количество раскаленных продуктов горения и температура их для стандартного огнепроводного шнура приблизительно постоянны. Очевидно, что чем больше расстояние от конца шнура до поверхности воспламеняемого вещества, тем меньше передаваемое ему количество тепла в продуктах горения шнура. В связи с этим максимальное расстояние, на котором еще происходит воспламенение, можно принять в качестве сравнительной меры воспламеняемости.

Другой возможный метод оценки воспламеняемости основан на том, что запас тепла в прифронтовом слое горящего порошкообразного ВВ зависит от его плотности. Как следует из уравнения 1, с увеличением плотности горящего ВВ запас тепла возрастает, так как линейная скорость горения уменьшается, а теплопроводность увеличивается. Для оценки воспламеняемости проводят серию опытов, помещая над испытуемым ВВ столбики какого-либо известного ВВ различной плотности. Находят минимальную плотность воспламеняющего ВВ, при которой еще может загореться исследуемое вещество. Эта плотность и служит мерой воспламеняемости. В качестве воспламеняющего удобно применять порошкообразное неплавящееся ВВ, из которого можно готовить заряды различной плотности. Очень удобен в этом отношении пироксилин или его смесь с гексогеном в отношении 80 : 20. Из этих ВВ можно готовить заряды плотностью от 0,2 до 1,6 $г/см^3$.

Недостатком метода является трудность обеспечения известной постоянной плотностн воспламеняющего заряда. Этот недостаток тем более существенен, что результат опыта зависит не от средней плотности воспламеняющего заряда, а от плотностн тонкого слоя, непосредственно прнлегающего к поверхности воспламеняемого ВВ. Кроме того, воспламеняющая способность нитроклетчатки в сильной мере зависит от ее влажностн. Для получения сравнимых результатов влажность применяемой нитроклетчатки нужно строго контролировать.

Третий вариант метода, непосредственно связанный с определением критического диаметра, заключается в следующем: из какого-либо подходящего ВВ с малым критическим диаметром горення, выбранного в качестве стандартного, изготавливают заряды различного днаметра. Этн заряды последовательно помещают на торцах исследуемых зарядов и поджнгают. После догорания воспламеняющего заряда воспламеняемый может лнбо загореться, либо нет в зависимости от того, достаточен ли переданный ему запас тепла. Прн прочих равных условиях этот запас можно характеризовать диаметром «горячего пятна», образуемого на поверхности воспламеняемого ВВ при догораннн воспламеняющего заряда. Последовательными опытамн находят наименьший диаметр стандартного ВВ, еще обеспечивающий воспламенение испытуемого. Этот минимальный диаметр и является мерой воспламеняемости. Данный вариант метода особенно подходит для нсследования бездымных порохов.

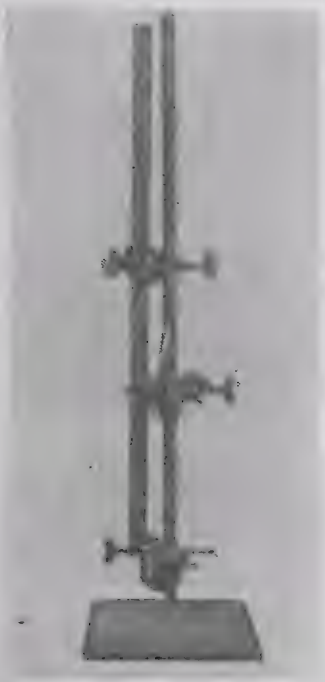

Рис. 53. Сборка для определения воспламеняемости ВВ при помощн огнепроводного шнура

Методика проведения опытов

а) Воспламеняемость от луча огня бикфордова шнура

Для испытания готовят несколько навесок исследуемого ВВ. Величина навески для вторичных ВВ и порохов должна быть не более 0,5 *г*, для инициирующих ВВ — не более 0,05 *г*. Каждую навеску ВВ поочередно помещают в отрезок стеклянной трубки диаметром 10—15 *мм* так, чтобы поверхность ВВ совпадала с верхним срезом трубки. Трубка с ВВ должна быть укреплена в корковой пробке, которую зажимают в держатель на подставке штатива. На этом же штативе, снабженном шкалой[1] с делениями по 0,5 *мм*, должен быть второй держатель, в котором закрепляют в кусочке резиновой трубки или пробки отрезок (~10 *см*) огнепроводного шнура. Нужно, чтобы ось отрезка шнура совпадала с осью заряда ВВ. На рис. 53 показана сборка перед опытом. Поджигают шнур с верхнего конца. Когда горение пороха дойдет до конца отрезка

[1] Удобный штатив с точной шкалой можно сделать из штангенциркуля, прикрепив зажнмы к его губкам.

шнура, из него вылетит сноп искр (луч огня), попадающий на поверхность воспламеняемого заряда. Уменьшая или увеличивая расстояние от конца шнура до поверхности ВВ, устанавливают максимальное расстояние, на котором еще получается воспламенение в трех последовательных опытах и минимальное расстояние, при котором три последовательных опыта дают отказ[1]. Эти расстояния определяют с точностью до 1 *см*. Отмечается также характер вызванного горения (мягкая вспышка, спокойное сгорание, взрыв и т. п.).

б) Определение минимальной плотности воспламеняющего заряда

Из исследуемого ВВ готовят заряды в стеклянных трубках, диаметр которых должен быть заведомо больше, чем критический диаметр для горения в данных условиях. Длина каждого заряда должна быть не менее 3 его диаметров и должна занимать не более $^2/_3$ высоты трубки. Если испытывают порошкообразное ВВ, то особое внимание надо обратить на создание во всех зарядах одинаковой заданной плотности и на равномерность плотностей в разных участках заряда. При испытании прессованных, литых и т. п. сплошных ВВ или порохов заряд соответствующего диаметра плотно вставляют в трубку.

Поверх испытуемого ВВ в трубку помещают воспламеняющий заряд из смеси 80% (по весу) пироксилина № 2 и 20% гексогена. Компоненты заряда должны быть предварительно высушены до постоянного веса, просеяны через сито с 30—40 отверстиями на сантиметр и тщательно перемешаны. Высота воспламеняющего заряда должна быть равна 1—2 диаметрам трубки. Плотность воспламенителя в пределах от 0,2 до 0,7 $г/см^3$ получают порционной насыпкой небольших навесок в трубку и равномерным последовательным уплотнением их деревянным пуансоном. Более высокие плотности получают прессованием на гидравлическом прессе. Для получения постоянной и равномерной плотности следует прессовать шашки высотой не более 1,5 диаметра, применять двустороннее прессование и делать при прессовании выдержку под давлением не менее 1 *мин*.

Подготовленный заряд помещают за щит с окном для наблюдения и поджигают с помощью проволочной спирали, накаливаемой током. Если после сгорания воспламеняющего заряда исследуемое ВВ воспламенится и сгорит, то в следующем опыте уменьшают плотность воспламеняющего заряда. Если исследуемое ВВ не загорелось, плотность воспламеняющего заряда в следующем опыте увеличивают. Таким образом, находят максимальную плотность воспламеняющего заряда, при которой не происходит воспламенения в трех последовательных опытах, и минимальную плотность, при которой воспламенение происходит. Характеристикой воспламеняемости считают среднюю из этих двух величин.

в) Определение минимального диаметра воспламеняющего заряда

Метод описывается применительно к определению воспламеняемости бездымных порохов. Из баллиститного бездымного пороха с малым критическим диаметром горения, выбранного в качестве стандартного, вытачивают воспламеняющие шашки различного диаметра. Для испытания различных марок порохов интервал диаметров воспламеняющих шашек — от 2 до 20 *мм*. Длина шашек должна быть не менее 3—4 диаметров. Исследуемый порох готовят в виде коротких цилиндрических шашек, диаметр которых должен быть заведомо (в 2—3 раза) больше критического диаметра горения данного пороха. Боковую поверхность обоих шашек броинруют перхлорвиниловым или каким-либо иным лаком. На одном из торцов шашки исследуемого пороха высверливают отверстие глубиной 2 *мм* с плоским дном. Диаметр отверстия должен быть точно равен наружному диаметру соответствующей воспламеняющей шашки стандартного пороха. Воспламеняющую шашку плотно вставляют в это отверстие и заряд укреп-

[1] Для каждого опыта применяют новую навеску ВВ.

ляют на дне широкого стеклянного стакана так же, как при определении критического диаметра горения (см. описание работы 5 и рис. 9) с тем только различием, что воду в стакан не заливают. Стакан заполняют углекислым газом и поджигают верхнюю шашку проволочной спиралью, накаливаемой током. Если после догорания воспламеняющей шашки испытуемый порох загорится, то в следующем опыте берут воспламеняющую шашку меньшего диаметра. Если воспламенения не произошло, то для следующего опыта берут воспламеняющую шашку бо́льшего диаметра. Таким образом определяют минимальный диаметр воспламеняющей шашки, обеспечивающий воспламенение испытуемого заряда.

Меры предосторожности

При определении воспламеняемости от огнепроводного шнура:

1) опыты проводят за защитным прозрачным щитом, предохраняющим от возможных осколков при взрыве;

2) в случае невоспламенения брать пробку и удалять навеску при испытании инициирующих и подобных им ВВ, нитроэфиров и черного пороха разрешается не ранее чем через три минуты; остатки невоспламенившегося ВВ собирают в бумажную коробочку и отдают для уничтожения;

3) при помещении ВВ в стеклянную трубочку и удалении его нельзя применять металлические инструменты.

При определении минимальной плотности или минимального диаметра воспламеняющего заряда меры предосторожности см. в описании работы 5.

Работа 19

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ К ВЗРЫВНОМУ ИМПУЛЬСУ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ИНИЦИАТОРА)

Содержание работы

Для сравнительной оценки взрывчатости исследуемого вещества, его восприимчивости к начальному импульсу в виде взрыва другого ВВ, наряду с другими методами (определение критического диаметра — см. работу 9; расстояния передачи детонации — работу 13 и др.) применяют и определение предельного заряда инициатора.

Предельным зарядом называют наименьшее количество инициирующего ВВ, которое в определенных условиях испытания обеспечивает детонацию данного заряда вторичного ВВ. Наиболее распространенная методика испытания заключается в том, что заряд вторичного ВВ запрессовывают до определенной плотности в гильзу капсюля-детонатора. Поверх этого заряда запрессовывают небольшое количество инициирующего ВВ. Действие полученного капсюля-детонатора испытывают чаще всего одним из косвенных методов (см. работу 26). Увеличивая или уменьшая заряд инициатора, находят предельный (минимальный) его заряд, еще обеспечивающий нормальное механическое действие капсюля. Для вторичных ВВ, которые не

детонируют при высокой плотности и малом диаметре заряда (смесевые, в частности, промышленные ВВ), испытание ведут, взрывая заряды насыпной плотности и соответствующего диаметра на свинцовом столбике (см. описание работы 22) с помощью различных зарядов инициирующего ВВ, запрессованных в гильзы капсюля-детонатора.

Очевидно, что одна и та же методика может быть применена для сравнительной оценки как инициирующей способности первичных ВВ, так и чувствительности вторичных ВВ. В первом случае определяют предельные заряды разных инициирующих ВВ по отношению к одинаковым зарядам одного и того же вторичного ВВ. Во втором — сравнивают предельные заряды одного и того же инициирующего ВВ по отношению к зарядам различных вторичных ВВ.

Величина предельного заряда зависит от размера частиц, влажности, плотности и других характеристик инициирующего и вторичного ВВ. Для получения воспроизводимых результатов определение выполняют при строгом соблюдении постоянства этих параметров. Если предельный заряд рассматривать как характеристику инициирующего ВВ, то очевидно, что он будет зависеть главным образом от длины участка, на котором горение ускоряется до детонации. Правильнее в этом случае говорить не о предельном весе, а о предельной высоте заряда инициирующего ВВ, достаточной для перехода его горения во взрыв. Очевидно, что при испытаниях в гильзах постоянного диаметра высота заряда пропорциональна весу только для зарядов одинаковой плотности.

Подготовка и проведение опытов

а) Испытание с индивидуальными вторичными ВВ в гильзах капсюля-детонатора № 8

Испытания можно вести только с такими вторичными ВВ, для которых критический диаметр детонации прессованного заряда заведомо меньше 7 *мм* (диаметр гильзы капсюля-детонатора № 8).

Отбирают 7—10 медных гильз капсюля-детонатора № 8. Гильзы должны быть чистыми, без следов деформации. Следует проверить, чтобы пуансон свободно входил в гильзу, а гильза — в матрицу для прессования. Готовят по две навески вторичного ВВ по $0{,}5 \pm 0{,}02$ *г* на каждый опыт. В каждую гильзу с помощью воронки всыпают по одной навеске. Гильзы с навесками устанавливают в штатив (картонная коробочка с отверстиями в крышке) и помещают за щитом в помещении, где производят прессование.

Сборка инструмента для прессования схематически показана на рис. 54. Проверив чистоту всех деталей, собирают инструмент в следующем порядке: ставят матрицу № 1 (с меньшим диаметром канала) на поддон, опускают гильзу с навеской в матрицу и накрывают ее направляющей. Осторожно вставляют пуансон, помещают всю сборку на стол гидравлического пресса и прессуют до давления, обеспечива-

ющего получение заданной плотности (как правило, не менее 500 и не более 1200 *кг/см*^{2}). По окончании прессования сборку помещают в защитное приспособление и извлекают из нее пуансон. Через воронку, вставленную в направляющую, всыпают вторую навеску 0,5 *г* вторичного ВВ и прессуют ее так же, как первую, после чего извлекают пуансон и выталкивают гильзу из сборки с помощью специального приспособления. Снарядив во все приготовленные гильзы по 1 *г* вторичного ВВ, нужно измерением высоты заряда проконтролировать однородность плотности.

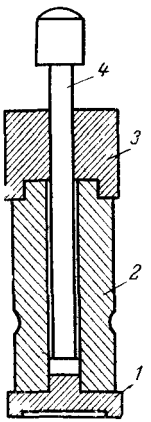

Рис. 54. Сборка для прессования заряда в гильзу капсюля-детонатора:
1 — поддон; *2* — матрица (в комплект входят две: у одной диаметр канала на 0,02—0,03 *мм* больше, чем у другой); *3* — направляющая; *4* — пуансон

В одну из гильз с навеской вторичного ВВ всыпают 0,1 *г* испытуемого инициирующего ВВ. Гильзу с навеской помещают в сборку для прессования так же, как описано выше, но на этот раз берут матрицу № 2 (с большим диаметром канала). Опустив пуансон, прессуют инициирующее ВВ до заданной плотности (как правило, для всей серии опытов применяют постоянное давление прессования от 250 до 500 *кг/см*^{2}). После извлечения пуансона и выталкивания капсюля из матрицы в защитном приспособлении полученный капсюль-детонатор испытывают на свинцовой пластинке (см. описание работы 26). Если в качестве вторичного ВВ взят гексоген или аналогичное ему по мощности ВВ, то применяют пластинку толщиной 5—6 *мм*, в случае тротила и подобных ему ВВ — 4 *мм*.

Если пластинка оказывается пробитой, то в следующем опыте уменьшают навеску инициирующего ВВ. В случае неполной детонации вторичного заряда (пластинка не пробита) заряд инициатора увеличивают. Таким образом, находят наименьший заряд, обеспечивающий нормальное действие капсюля-детонатора. В интервале от 0,01 до 0,1 *г* предельный заряд находят с точностью до 0,01 *г*, в интервале 0,1—0,2 *г* — до 0,02 *г*, а заряды более 0,2 *г* находят с точностью до 0,05 *г*.

б) Испытание промышленных и других смесевых ВВ

Для испытания взвешивают 8—10 зарядов аммонита или другого смесевого ВВ по 50 *г*. Заряды готовят в гильзах диаметром 40 *мм*, как для определения бризантности (см. описание работы 22). Плотность зарядов должна соответствовать рабочей плотности данного ВВ[1].

Далее готовят соответствующее количество медных или алюминиевых гильз капсюля-детонатора. Одну из гильз помещают в сборку, как описано выше в п. «а», через воронку осторожно всыпают в нее

[1] В зависимости от задач исследования могут быть применены и другие плотности.

0,1 *г* инициирующего ВВ и прессуют давлением 500 *кг/см*^{2} [1]. Полученным таким образом капсюлем производят взрыв одного из подготовленных зарядов на свинцовом столбике, как описано в работе 22. Обжатие столбика сравнивают с тем, которое получается при взрыве такого же заряда с помощью обычного капсюля-детонатора № 8.

Считают, что испытуемый заряд инициирующего ВВ вызвал полную детонацию, если эти обжатия совпадают с точностью до 2 *мм*.

Уменьшая или увеличивая (в зависимости от получаемого обжатия свинцового столбика) заряд инициирующего ВВ, последовательными опытами находят предельный заряд, вызывающий полную детонацию вторичного ВВ.

Меры предосторожности

Прессование зарядов в гильзы производят по специальной инструкции, в которой должны быть учтены все особенности расположения и конструкции приспособлений и инструмента в данной лаборатории. При подрывах соблюдают требования соответствующих инструкций.

---

[1] Это определение желательно выполнять с азидом свинца. Как показывает опыт, предельные заряды гремучей ртути, определяемые описанным способом для аммонитов разного состава и свойств, различаются относительно мало. Это объясняется тем, что минимальный заряд гремучей ртути, для которого в данных условиях возможен переход горения во взрыв, сравнительно велик.

— · —

Глава V

СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА
(*Уч.* VII, *3—4*, 397—409)

Работа 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СОСТАВА ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Сущность метода

Объем и состав газообразных продуктов взрыва определяют, взрывая заряд ВВ в прочной стальной бомбе. Зная ее объем и измерив, после того как газы охладятся, давление, созданное продуктами взрыва, легко найти их объем. Состав продуктов определяют химическим анализом газов.

Наибольший интерес данное испытание представляет для оценки возможности применения промышленного ВВ при подземных работах. Для такой оценки нужно прежде всего определить содержание в продуктах взрыва ядовитых газов: окиси углерода и окислов азота. Как установлено опытом, получаемый в лабораторных условиях состав продуктов взрыва более или менее близок к тому, который образуется в шахтах, если заряд в бомбе взрывать в окружении слоя инертного материала. Обычно для этой цели применяют кварцевый песок[1]. Проникая между частицами песка, продукты детонации быстро охлаждаются, идущие в них реакции прекращаются, и состав продуктов оказывается далеким от равновесного. Близкая картина явлений имеет место при взрыве в шпуре, где продукты быстро охлаждаются как за счет совершения механической работы разрушения, так и за счет контакта с раздробленной породой. Для того чтобы избежать взаимодействия продуктов взрыва с кислородом воздуха, опыт проводят в предварительно эвакуированной бомбе.

Методика испытания

Для опыта нельзя применять заряды, особенно промышленных ВВ типа аммонитов слишком малых размеров, так как в этом случае детонация может быть неполной.

[1] Были предложены и другие оболочки, как сплошные (свинцовая, стальяая), так и гранулнрованные (дробленая руда, уголь нлн другая порода), не получнвшне, однако, шнрокого прнменення.

Кроме того, состав продуктов взрыва малого заряда был бы сильно искажен за счет продуктов взрыва капсюля-детонатора. Поэтому обычно применяют заряды весом не менее 50 *г*.

В качестве замкнутой емкости, в которой может быть безопасно произведен взрыв таких количеств ВВ, применяют полый толстостенный стальной цилиндр — так называемую бомбу Бихеля (рис. 55),— закрывающийся толстой стальной крышкой на болтах. В стенке бомбы имеется канал, в который ввинчен игольчатый вентиль. При помощи вентиля бомбу соединяют с манометром; через этот же вентиль отбирают пробы газа для анализа и откачивают воздух из бомбы перед опытом. Через стенку бомбы проходит изолированный стержень; на внутренней ее стороне имеется второй стальной стержень, соединенный с телом бомбы. К этим стержням присоединяют проводники электродетонатора, служащего для взрыва заряда ВВ.

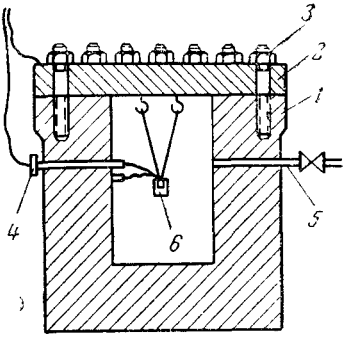

Рис. 55. Бомба Бихеля:
1 — корпус бомбы; *2* — крышка; *3* — болты; *4* — электроизолированный ввод; *5* — вентиль для откачивания бомбы и отбора газов после взрыва; *6* — заряд ВВ с электродетонатором

Измерение давления газов взрыва производят при помощи манометра; их анализ — путем поглощения CO_2, NO, O_2 и CO соответствующими растворами в поглотительных сосудах того или иного устройства (обычно применяют газоанализатор конструкции Всесоюзного теплотехнического института) с последующим сжиганием углеводородов и водорода.

Испытание производят следующим образом. Навеску ВВ ($50\pm\pm0{,}1$ *г* или $70\pm0{,}2$ *г*)[1] помещают в гильзу диаметром 32 *мм*, свернутую из листа бумаги, имеющего форму равнобочной трапеции (основания 200 и 150 *мм*, высота 140 *мм* для навески 50 *г*). Для изготовления гильз применяют бумагу с плотностью от 35 до 50 *г/м*^{2}; вес гильзы должен соответствовать весу бумажной оболочки заводского патрона: не более 2 *г* на 100 *г* ВВ. Токоподводящие стержни снаружи бомбы замыкают накоротко отрезком провода. В заряд на глубину 20 *мм* вводят электродетонатор, концы проводов которого предварительно замыкают накоротко. Чтобы свести к минимуму количество изоляции проводников электродетонатора, ее предварительно снимают вплоть до скрученной их части.

Заряд ВВ помещают в стеклянный стаканчик диаметром около 50 *мм* и засыпают его 200 *г* кварцевого песка так, чтобы он окружал патрон со всех сторон слоем одинаковой толщины. Сначала насыпают песок слоем 5—7 *мм* на дно, затем вставляют по оси стакана снаряженную гильзу и засыпают ее остальным песком. Стаканчик при помощи

[1] Для бомбы объемом до 20 *л*. В некоторых лабораториях применяют бомбу емкостью 50 *л*, где можно взрывать по 100 *г* ВВ и более. Максимальный заряд для бомбы, имеющейся в лаборатории, должен быть указан в инструкции.

асбестового шнура подвешивают к крючкам на стенке бомбы так, чтобы он находился в центре ее. После этого проводники электродетонатора разъединяют друг от друга и присоединяют к токоподводящим стержням.

Бомбу закрывают крышкой, предварительно уложив в паз резиновую прокладку, навинчивают на болты все гайки и затягивают их сначала рукой, а затем ключом. Затягивание гаек ключом ведут в диаметральной последовательности. После этого открывают вентиль и включают мотор вакуум-насоса. Эвакуацию ведут до остаточного давления 50 ± 2 *мм*. Отключив насос, наблюдают несколько минут за показаниями манометра. Если давление в бомбе остается постоянным, закрывают вентиль, соединяющий бомбу с манометром, присоединяют провода источника тока к клеммам бомбы и производят взрыв. После часовой выдержки (применяемой с целью полного охлаждения бомбы и газов взрыва до температуры помещения) вновь соединяют бомбу с манометром и измеряют давление газообразных продуктов взрыва. По этому давлению и температуре помещения, зная объем бомбы, рассчитывают объем сухих газов взрыва v_0 на 1 *кг* ВВ

$$v_0 = \frac{v\,(p - p_{H_2O})\cdot 273}{760 \cdot T \cdot q} \cdot 1000 \text{ л/кг},$$

где v — объем бомбы в *л*;

p — давление в ней *мм рт. ст.*;

T — абсолютная температура помещения;

p_{H_2O} — упругость насыщенного водяного пара при температуре T в *мм рт. ст.*;

q — навеска ВВ в *г*.

После определения объема газов взрыва отбирают пробу для определения их состава.

Пробы отбирают либо в эвакуированную пипетку с двумя кранами, либо непосредственно в измерительную бюретку газоанализатора. В обоих случаях обращают внимание на то, чтобы воздух, находящийся в соединительных вредных объемах, не разбавил исследуемый газ и не привел таким образом к искажению результатов. Этот воздух удаляют либо промывкой соответствующих частей прибора анализируемым газом, либо откачиванием из них воздуха перед впуском газов взрыва.

Определение содержания CO_2, NO, O_2 и CO производят методом поглощения при многократном перепускании газов из бюретки газоанализатора в соответствующий поглотительный сосуд, до тех пор пока объем газов при двух последовательных операциях поглощения не станет постоянным[1].

Для поглощения CO_2 обычно применяют концентрированный (60%) раствор КОН. Для поглощения NO используют подкисленный сер-

[1] Детальное описание порядка манипуляций при работе с газоанализатором имеется в заводской инструкции к нему.

ной кислотой раствор закисного сернокислого железа (окись азота в этом растворе образует окрашенное в темно-коричневый цвет комплексное соединение $FeSO_4 \cdot NO$). Поглощение кислорода производят щелочным раствором пирагаллола или оксигидрохинонтриацетата.

Окись углерода поглощают аммиачным раствором полухлористой меди в котором она образует непрочное соединение $Cu_2Cl_2 \cdot CO$. Определение производят всегда в такой последовательности: CO_2, NO, O_2, CO. После поглощения находят содержание углеводородов и водорода, смешивая остаток газа с воздухом или кислородом и сжигая эту смесь в специальной пипетке газоанализатора. Содержание CO_2 и остатка O_2 определяют поглощением, а количество образовавшейся воды — простым расчетом.

Содержание газов, найденное анализом, выражают в объемных процентах, а затем в литрах (при нормальных условиях) на 1 *кг* ВВ.

На основании результатов определения объема и состава газов для промышленных ВВ обычно рассчитывают условный суммарный объем ядовитых газов, образующихся при взрыве 1 *кг* ВВ, под которым понимают сумму объема окиси углерода и объема окиси азота, умноженного на 6,5. Этот метод расчета исходит из того, что окись азота в воздухе шахты переходит в двуокись азота, токсичность которой условно считают в 6,5 раз большей, чем окиси углерода.

Меры предосторожности

1. Токоподводящие клеммы на наружной стороне бомбы должны быть закорочены в течение всего времени, пока бомба открыта.
2. Взрыв электродетонатора следует производить только от взрывной машинки.
3. Перед взрывом заряда все люди должны быть удалены из комнаты, в которой находится бомба.
4. В случае отказа открывать бомбу разрешается не ранее чем через 15 *мин*, предварительно отключив токоподводящие провода от клемм бомбы и закоротив эти клеммы.
5. При сжигании метана и водорода в стеклянном сосуде в газоанализаторе следует надевать защитные очки.

— · —

Глава VI

ТЕПЛОТА ВЗРЫВЧАТОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ
(*Уч.* VIII, *1*, 410—425)

Работа 21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ГОРЕНИЯ ПОРОХОВ И ВВ

Сущность метода

Теплоту взрывчатого превращения экспериментально определяют с помощью обычной калориметрической установки, аналогичной тем, которые применяют для определения теплотворной способности топлив. Навеску исследуемого пороха или ВВ сжигают в специальной бомбе, помещенной в калориметр. Измерив повышение температуры воды в калориметре и зная теплоемкость всей системы (бомба, вода, калориметрический сосуд и погруженные в воду части термометра, мешалки и проводов), легко вычислить тепло, выделившееся при сгорании взятой навески пороха или ВВ.

В отличие от того, что принято для определения теплоты сгорания топлив, теплоту взрывчатого превращения определяют при горении исследуемого ВВ в атмосфере инертного газа (азот) или в вакууме.

Конструкция калориметрической бомбы рассчитана на сравнительно медленное и не слишком большое повышение давления, возникающее при горении ВВ (пороха), но не на действие ударных волн, возникающих при детонации. В бомбе можно определять теплоту взрывчатого превращения только таких ВВ, которые в этих условиях горят, но не взрываются.

Как известно (*Уч.* VII, *3*, 398—406), состав продуктов горения изменяется в процессе их охлаждения. Конечный состав определяется в первую очередь равновеснем реакций водяного и доменного газов при некоторой температуре «закалки», промежуточной между температурой горения и температурой калориметрических измерений. Соответственно изменению состава продуктов и тепловой эффект горения может меняться в зависимости от того, при какой температуре произошла «закалка».

В случае бездымных порохов можно для многих составов считать, что состав продуктов горения зависит только от равновесия реакции водяного газа

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 + 9{,}85 \text{ ккал}.$$

Тепловой эффект реакции водяного газа, рассчитанный на один моль образующегося водорода, почти точно равен по абсолютной величине и противоположен по знаку теплоте конденсации одного моля водяного пара. Поэтому при смещении равновесия реакции водяного газа в ту или иную сторону изменение теплового эффекта компенсируется изменением теплоты конденсации. Таким образом, тепловой эффект горения, определенный «при воде жидкой», практически не зависит от температуры, достигнутой при горении, и условий «закалки» рав-

новесия при охлаждении. Именно поэтому экспериментально определяют теплоту горения при постоянном объеме и воде жидкой $Q_v(H_2O_ж)$ или $Q_ж$. Эта величина принята как одна из основных характеристик порохов разных марок.

Если в составе пороха недостает кислорода для полной газификации углерода (порох со значительным отрицательным кислородным балансом), то состав продуктов горения определяется не только равновесием реакции водяного газа, но и реакции доменного газа

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO,$$

что легко заметить по отложению сажи в бомбе. В таком случае тепловой эффект горения будет меняться в зависимости от условий «закалки» равновесия при охлаждении газов. В случае нитроглицериновых порохов обычного типа равновесие реакции доменного газа практически влияет на состав продуктов и тепловой эффект горения для тех марок пороха, теплота горения которых менее 850 *ккал/кг*[1].

Чтобы избежать неопределенности результатов, связанной с влиянием реакции доменного газа на тепловой эффект, для порохов с теплотой горения менее 850 *ккал/кг* применяют специальные способы калориметрии, например метод Де-Поу. Метод Де-Поу заключается в том, что в бомбе сжигают смеси равных количеств исследуемого пороха ($Q_ж < 850$ *ккал/кг*) и стандартного пороха с высокой теплотой горения ($Q_ж \simeq 1200$ *ккал/кг*). В качестве стандартного применяют специальный, так называемый эталонный порох, теплота горения которого точно известна. В основе метода лежит допущение, что теплоты сгорания разных порохов аддитивны. Это допущение приближенно справедливо для порохов обычного типа при отношении навесок исследуемого и эталонного порохов близких к 1 : 1. Состав продуктов горения смеси порохов с достаточной точностью зависит только от равновесия реакции водяного газа и поэтому экспериментально определенная теплота горения не зависит от условий «закалки».

Устройство калориметрической установки

Калориметрическая установка схематически показана на рис. 56. Кроме деталей, показанных на схеме, в комплект установки входят: щиток с реостатом для регулирования числа оборотов мешалки, трансформатором для накаливания воспламеняющей проволочки, контрольной лампой и выключателем, а также штатив с кольцами для установки крышки калориметрической бомбы при ее снаряжении, термометр Бекмана, лупа, секундомер и чашечка для навески пороха.

Устройство калориметрической бомбы ясно из рис. 57. Входной клапан электрически изолирован от корпуса бомбы и одновременно является одним из контактов цепи воспламенения. Штифт с кольцом, в которое помещают чашечку с образчиком пороха или ВВ, соединен с корпусом бомбы и служит вторым контактом.

Калориметрический сосуд представляет собой легкий тонкостенный металлический стакан, заполненный дистиллированной водой, в которую погружают бомбу при опыте.

Оболочка (кожух) калориметра представляет собой массивный двухстенный бак с двойным дном. Межстенное пространство бака заполнено дистиллированной водой, что увеличивает тепловую инерцию

[1] Для порохов определенного класса наблюдается прямая связь между величиной кислородного баланса и теплотой горения.

оболочки и уменьшает колебания температуры калориметрического сосуда. Оболочка снабжена пластмассовой крышкой, составленной из двух половин, с отверстиями для термометра, вала мешалки и токоведущих проводов.

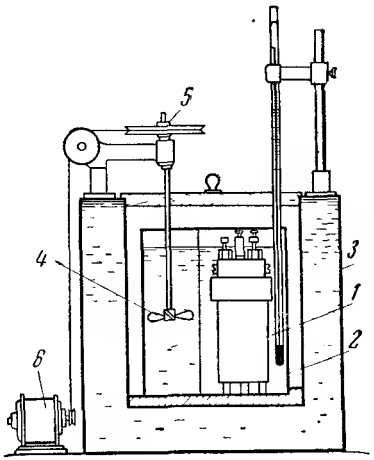

Рис 56 Схема калориметрической установки:

1 — калориметрическая бомба; *2* — калориметрический сосуд; *3* — оболочка калориметра; *4* — мешалка; *5* — шкив; *6* — электродвигатель

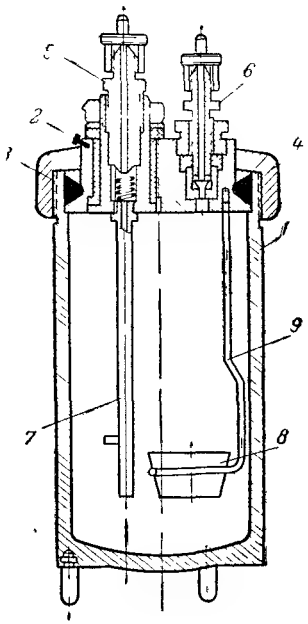

Рис 57. Схема калориметрической бомбы:

1 — стакан; *2* — крышка; *3* — уплотнения; *4* — прижимное кольцо, *5* — входной клапан; *6* — выпускной клапан; *7* — стержень, изолированный от корпуса; *8* — чашечка с навеской пороха; *9* — штифт с кольцом

Подготовка и проведение опыта

а) Подготовка калориметрической установки к работе

В калориметрический сосуд заливают дистиллированную воду, принявшую температуру помещения. Уровень воды в сосуде должен быть выше сальниковых гаек крышки, погруженной в сосуд бомбы. Количество воды в сосуде должно быть одинаковым с точностью до 10 *г* при определении водяного эквивалента калориметра и при всех последующих опытах. Калориметрический сосуд с водой взвешивают на технических весах с точностью до 1 *г*. Перед взвешиванием капли воды со стенок сосуда с водой убирают фильтровальной бумагой. Калориметрический сосуд с водой ставят на поддон в оболочку калориметра. Устанавливают мешалку и пускают в ход для проверки ее работы. Если слышится постукивание мешалки о стенки сосуда,

его осторожно передвигают до прекращения стука, затем мешалку выключают.

Далее приступают к подготовке образчика и монтажу крышки бомбы. Прежде всего одевают на крышку резиновое, а затем стальное кольцо; последнее должно быть одето скошенным срезом вниз. Крышку с кольцами устанавливают на кольцо штатива. Снизу к контакту крышки прикрепляют отрезок специальной воспламенительной проволочки длиной около 11 *см*. В середине проволочки делают три-четыре витка спирали. Поверхность контактов в местах соприкосновения с проволочкой очищают перед каждым опытом наждачной бумагой. Предварительно прокаленную и охлажденную чашечку (кварцевую или из нержавеющей стали) вставляют в кольцо стержня крышки бомбы и заполняют примерно на две трети, насыпав в нее часть приготовленной навески пороха. Проволочку вставляют в чашечку так, чтобы она не прикасалась к ее стенкам, а своей средней частью касалась пороха, и засыпают остаток пороха.

Операцию засыпания в чашечку навески пороха следует проделывать осторожно, избегая потерь пороха. Под штатив кладут лист бумаги, с которого выпавшие частицы пороха стряхивают в чашечку или непосредственно в бомбу. Крышку снимают со штатива и вставляют в корпус бомбы. Придерживая корпус бомбы рукой, завертывают вручную нажимное кольцо до отказа. Крышка при этом не должна вращаться. Конструкция уплотнений такова, что затягивать резьбу ключом нет надобности.

К открытому входному штуцеру бомбы присоединяют через редуктор трубку от баллона с азотом, открывают при помощи ключа выходной штуцер и дают слабый ток газа. Для вытеснения воздуха из бомбы азот пропускают около двух минут. Давать сильный ток газа нельзя во избежание выдувания пороха из чашечки. Затем перекрывают входной и выходной клапаны и отсоединяют трубку от бомбы. Бомбу помещают в калориметрический сосуд, держа рукой за вентили, стараясь не разбрызгать воду и не замочить рук.

На контакты бомбы надевают клеммы проводов цепи воспламенения, вставляют термометр Бекмана, закрывают крышку калориметра и пускают в ход мешалку. Через 10 *мин*, в течение которых происходит выравнивание температуры, приступают к опыту.

Уровень ртути в термометре Бекмана должен перед опытом находиться в пределах от 1° до 1,5° шкалы. Отсчеты производятся через лупу с точностью до 0,001°. Перед каждым отсчетом для устранения прилипания ртути к стенкам капилляра по термометру постукивают деревянной палочкой с резиновым наконечником.

б) Подготовка образцов пороха к испытанию

Для сжигания применяют измельченную тонкую стружку исследуемого пороха, полученную обтачиванием шашки на токарном станке. Если порох пластинчатой формы, с толщиной пластинок не более 0,5 *мм*, то его можно применять для сжигания непосредственно. Что-

бы избежать слишком большого повышения давления, опасного для целости бомбы, плотность заряжания не должна превышать 0,02 *г/мл*. Навеска пороха должна составлять около 5 *г*. Необходимое количество пороха взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 *г*. Взвешивание производят в бюксе или на часовом стекле.

В случае сжигания по методу Де-Поу пороха с теплотой горения менее 850 *ккал/кг* для опыта в отдельных бюксах отвешивают 2,5 *г* исследуемого образца и 2,5 *г* эталонного пороха с высокой и точно известной теплотой сгорания. Подготовленные навески тщательно перемешивают на листе глянцевой чистой бумаги или в большом бюксе.

в) Проведение калориметрического опыта

В течение калориметрического опыта ведут наблюдение за температурой по термометру Бекмана. Для учета теплообмена калориметрической установки с окружающей средой температуру измеряют в течение некоторого времени до начала горения пороха в бомбе и после достижения максимальной температуры, производя отсчеты показаний термометра через каждые 30 *сек*. Весь опыт разбивается на три периода: начальный, главный и конечный.

Продолжительность начального периода 2,5 *мин* (шесть отсчетов температуры). Если в течение начального периода будет наблюдаться быстрое и неравномерное изменение температуры, то опыт прерывают, сделанные отсчеты температур отбрасывают и, выждав 10—15 *мин* для выравнивания температуры калориметра и окружающей среды, начинают отсчеты снова.

Одновременно с последним (шестым) отсчетом начального периода включают ток для накаливания воспламеняющей проволочки. Фиксируют напряжение тока по вольтметру, силу тока по амперметру и время горения проволочки по секундомеру.

С момента включения тока начинается главный период калориметрического опыта. Отсчеты температуры продолжают вести через каждые 30 *сек*. В течение главного периода происходит сгорание навески, передача выделившегося тепла калориметру и выравнивание температуры всех частей калориметрической системы. Концом главного периода считают отсчет, после которого началось падение температуры.

В течение конечного периода (после начала падения температуры) делают пять отсчетов; они служат для наблюдения и учета теплообмена калориметра с окружающей средой в условиях конечной температуры опыта.

г) Обработка результатов опыта

Расчет теплоты горения пороха производят на основании опытных данных по формуле

$$Q_{ж} = \frac{(w_1 + w_0)\, t - q}{G}, \qquad (1)$$

где $Q_ж$ — теплота горения пороха в постоянном объеме при воде жидкой;

w_1 — количество воды в калориметрическом сосуде в граммах;

w_0 — водяной эквивалент калориметра, определяемый специальными опытами;

G — навеска пороха в граммах;

t — действительный подъем температуры калориметрической системы;

q — Джоулево тепло в калориях, выделившееся при прохождении электрического тока по проволочке

$$q = 0{,}24\, i \cdot v\, \tau,$$

где i — сила тока в амперах;

v — напряжение в вольтах;

τ — время от момента включения тока до перегорания проволочки в секундах.

В случае определения теплоты горения по методу Де-Поу расчет ведут по формуле

$$Q_ж = \frac{(w_1 + w_0)\, t - q - Q_э\, G_э}{G}. \qquad (2)$$

где $Q_э$ — теплота горения эталонного пороха при постоянном объеме и жидкой воде;

$G_э$ — навеска эталонного пороха.

Остальные буквы имеют те же значения, что и в формуле (1).

Действительный подъем температуры определяют по опытным данным аналитически или графически. Первый способ применяют при точных определениях. Расчетные формулы (Шукарева и Реньо-Пфлаундера), приведенные в соответствующих руководствах, довольно громоздки.

Графическое определение значительно проще и наглядней. При аккуратном построении в достаточно крупном масштабе точность графического способа соответствует обычной точности учебного эксперимента. По этому методу действительное изменение температуры калориметрической системы находят экстраполяцией кривых начального и конечного периодов до того момента главного периода, когда изменение температуры системы составит половину всего наблюдаемого подъема температуры.

Для этого по результатам опыта строят график на миллиметровой бумаге (в одном сантиметре не более 0,1°), соединяя экспериментальные точки плавной кривой. Полученный график показан на рис. 58. Находят среднюю температуру главного периода $t_{ср} = \frac{t_0 + t_к}{2}$ и проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой $ABCD$ в точке K. Через точку K проводят прямую, параллельную оси ординат. Отрезки кривой AB и CD экстраполируют до пересечения с указанной прямой в точках E и F. Отрезок EF дает (в соответ-

ствующем масштабе) действительное изменение температуры калориметра.

В случаях, когда изменение температуры в начальном периоде очень мало и тепло выделяется в системе очень быстро, что иногда имеет место при горении пороха, график имеет вид, показанный на рис. 59. В таких случаях, действительную разность температур измеряют от-

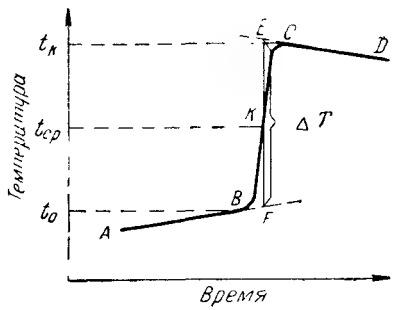

Рис. 58. Примерный график изменения температуры во время калориметрического опыта и способ нахождения действительной разности температур:

ABCD— кривая, проведенная по экспериментальным точкам; *FE* — действительная разность температуры

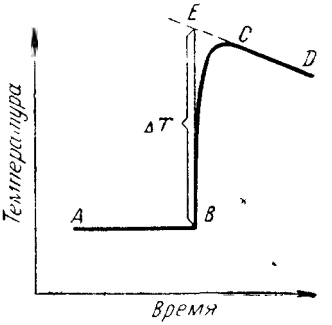

Рис. 59. График изменения температуры в частном случае:

ABCD — кривая, проведенная по экспериментальным точкам; *BE* — действительная разность температур

резком *BE*, отсекаемым экстраполяцией кривой конечного периода до вертикальной прямой, проходящей через начало главного периода.

В расчетную формулу (1) не введена поправка на сгорание проволочки, так как при сжигании порохов в атмосфере инертного газа запальная проволочка не сгорает, а лишь расплавляется и разбрызгивается внутри бомбы.

Для каждого образца проводят два параллельных испытания, из которых выводят среднее. Разница в параллельных испытаниях не должна превышать 5 *ккал/кг*.

д) Разборка калориметра

После окончания опыта останавливают мешалку и производят разборку калориметра в следующем порядке: снимают крышку оболочки калориметра и вынимают термометр; отсоединяют клеммы воспламенительного шнура и вынимают его из калориметра; поднимают мешалку и осторожно вынимают бомбу так, чтобы капли воды не попали на дно оболочки калориметра; бомбу ставят под тягу, отвинчивают колпачок выпускного штуцера и медленно выпускают газообразные продукты горения. После полного выхода газов свертывают зажимное кольцо и вынимают крышку бомбы. Корпус бомбы про-

мывают дистиллированной водой, а потом спиртом, после чего продувают воздухом, чтобы высушить, и ставят крышку с открытым штуцером на штатив с кольцом.

Определение водяного эквивалента калориметрической установки

Водяным эквивалентом калориметра называют весовое количество воды, имеющее теплоемкость, равную теплоемкости системы, состоящей из калориметрического сосуда, калориметрической бомбы с ее содержимым и погруженных в воду частей машалки и термометра. Так как для повышеиия температуры 1 *г* воды на 1° требуется 1 *кал*, а количество тепла, необходимое для нагревания тела, пропорционально массе этого тела, то водяной эквивалент численно равен количеству калорий тепла, необходимых для повышения температуры калориметрической системы на 1° С.

В качестве стандартного метода определения водяного эквивалента для всех лабораторий Советского Союза принят метод сжигания в бомбе калориметра брикета эталонной бензойной кислоты в атмосфере кислорода.

Подробное описание техники определения водяного эквивалента приводится в соответствующих руководствах (см., например, М. М. Попов «Термометрия и калориметрия»).

Для приближенного определения водяного эквивалента можно воспользоваться также сжиганием в бомбе навески эталонного пороха, теплота горения которого точно определена и известна. Опыт проводят так же, как описано выше. По результатам опыта и сведениям, содержащимся в паспорте на данную партию эталонного пороха, известны все величины, входящие в формулу (1), кроме w_0. Простым преобразованием формулы (1) легко найти w_0.

Меры предосторожности

При обращении с ВВ и порохами должны соблюдаться меры предосторожности, предусмотренные общими инструкциями. Не разрешается применять для сжигания навески более 5 *г*, а также сжигать в бомбе ВВ, для которых в данных условиях возможен переход горения в детонацию.

— · —

Глава VII

РАЗРУШАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА

(*Уч.* IX, *3*, 465—476, *4*, 476—481, *5*, 481—489)

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ РАБОТАХ

Подготовку зарядов и взрывы проводят в местах, отведенных для этих работ, соблюдая требования инструкций по технике безопасности. Студенты выполняют заключительную часть опыта (установка электродетонатора и взрыв) только в присутствии руководителя.

Работа 22

ОЦЕНКА БРИЗАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ПО ОБЖАТИЮ СВИНЦОВЫХ ЦИЛИНДРИКОВ (ПРОБА ГЕССА)

Сущность метода

Самым простым и наиболее распространенным методом оценки бризантности ВВ является проба на обжатие свинцовых цилиндриков (проба Гесса). Сущность ее состоит в том, что заряд ВВ помещают на стальной диск, который в свою очередь лежит на торце свинцового цилиндра. Продукты детонации ВВ на начальной стадии расширения сообщают диску некоторое количество движения, которое вызывает обжатие свинцового цилиндрика. Величина этого обжатия служит мерой бризантности.

Импульс, переданный свинцовому столбику, нелинейно связан с величиной обжатия. Работа деформации столбика приближенно пропорциональна обжатию, отнесенному к конечной высоте цилиндра,

$$\frac{\Delta h}{h_0 - \Delta h} = \frac{h_0 - h_к}{h_к} = \alpha,$$

где h_0 — высота свинцового цилиндра до опыта;
$h_к$ — после опыта, $\Delta h = h_0 - h_к$.

При сравнении бризантности различных ВВ лучше пользоваться указанной величиной относительного обжатия, чем непосредственно уменьшением высоты столбиков.

Проведение опытов

Определение производят следующим образом. Навеску ВВ $50 \pm 0{,}1$ *г* помещают в гильзу из плотной бумаги внутренним диаметром 40 *мм*. Гильзу склеивают из листа бумаги размерами 65×150 *мм* в виде трубки внутренним диаметром 40 *мм* на пуансоне соответствующего размера. Дно гильзы вырезают из той же бумаги в виде кружка диаметром 60 *мм*. По краям кружка делают радиальные надрезы длиной по 10 *мм*, загибают надрезанные части на края трубки и приклеивают их.

С помощью специального фигурного пуансона, имеющего выступ для образования гнезда под капсюль-детонатор, навеску ВВ уплотняют в гильзе до плотности 1,0 *г/см*^{3}, если в задании не указана иная плотность. Плотность заряда определяют расчетом по высоте слоя ВВ в гильзе. Поверх ВВ в гильзу кладут картонный или фанерный кружок с центральным отверстием диаметром 7,5 *мм* для электродетонатора. Края гильзы загибают внутрь. Электродетонатор вводят в заряд на глубину 15 *мм* непосредственно на месте проведения взрыва перед самым моментом взрывания.

Для определения бризантности служат свинцовые столбики — цилиндры из чистого свинца диаметром 40 *мм* и высотой 60 *мм*[1]. Высота цилиндра должна быть измерена перед опытом в четырех точках, расположенных по концам двух взаимно перпендикулярных диаметров. Места измерения отмечают карандашом на боковой поверхности цилиндров. Из четырех измерений, сделанных штангенциркулем с точностью до 0,1 *мм*, вычисляют среднюю высоту столбика. Измеренный свинцовый цилиндр ставят в центре стальной плиты с крючками для привязывания заряда по углам. На столбик кладут стальной диск диаметром 41 *мм* и толщиной 10 *мм*, поверх которого ставят подготовленный заряд с электродетонатором. Столбик с зарядом привязывают шпагатом к крючкам плиты. Плиту с зарядом помещают в бронекамеру и производят взрыв с соблюдением установленных мер предосторожности. Плита перед взрывом должна строго горизонтально лежать на твердом основании, а детонатор, заряд, диск и свинцовый цилиндр должны иметь общую ось, перпендикулярную поверхности плиты.

После взрыва осторожно очищают свинцовый цилиндрик, принявший форму гриба, и производят измерение его высоты штангенциркулем в четырех точках так же, как перед опытом. По результатам измерения рассчитывают разность средних высот цилиндра до и после взрыва и относительное обжатие α.

Применение пробы на сбжатие свинцовых цилиндров для стандартных испытаний регламентировано ГОСТ 5984—51.

[1] Качество их проверяют, испытывая 2 цилиндра от каждой партии (отливки) взрывом эталонного ВВ. В качестве эталона применяют кристаллизованный тротил.

Работа 23

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С НЕКОТОРЫМИ ЗАКОНОМЕРНОСТЯМИ МЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА

Содержание работы

Целью работы является ознакомление с закономерностями местного действия взрыва и влиянием на него различных факторов. В качестве меры местного действия в работе принято обжатие свинцового крешера (как при определении бризантности) или пробивание стальных пластин при взрыве зарядов. Работа предусматривает несколько вариантов выполнения опытов.

Местное действие взрыва определяется расширением газообразных продуктов детонации в начальной его стадии. При этом, если заряд соприкасается одной из своих поверхностей с преградой, то местное действие на нее определяется расширением продуктов лишь так называемой активной части заряда, т. е. той части, продукты взрыва которой движутся в сторону указанной поверхности. Наглядное представление об изменении величины активной части заряда в зависимости от формы его можно получить из ряда опытов, в которых измеряют обжатие крешеров при взрыве цилиндрических зарядов постоянного диаметра, но возрастающей высоты. Начиная с некоторой относительной[1] высоты заряда, дальнейшее ее увеличение не ведет к росту активной части, а следовательно, и увеличению обжатия крешера.

В другом варианте постановки опыта взрывают в контакте с крешером или набором стальных пластин заряды постоянного размера при разных условиях расширения продуктов взрыва. Окружение заряда оболочкой, например из воды, замедляя боковой разлет продуктов взрыва, увеличивает обжатие крешера[2].

Наиболее бризантные формы работы взрыва обусловлены, как известно, самой начальной стадией расширения продуктов детонации. На этой начальной стадии, когда состояние продуктов взрыва подчиняется уравнению Ландау—Станюковича $p = \text{const}\,\rho^3$, где p — давление, а ρ — плотность продуктов взрыва, давление продуктов взрыва очень быстро падает по мере расширения.

Легко показать, что для сферического заряда, инициируемого в центре, давление в начальной стадии расширения падает обратно пропорционально девятой степени радиуса сферы, занимаемой газами.

Соответственно, при удалении заряда от разрушаемой взрывом преграды даже на небольшое расстояние, местное действие существенно ослабляется.

---

[1] Относительной высотой называют отношение длины заряда к его диаметру.

[2] Если диаметр заряда значительно меньше предельного, то наличие оболочки усиливает эффект взрыва также и за счет уменьшения химических потерь и соответственного увеличения скорости детонации. Влияние оболочки на величину активной части заряда можно, однако, наблюдать и в случаях когда диаметр больше предельного.

Во всех вариантах постановки опытов, предусмотренных данной работой, заряды взрывают в контакте со стальным диском, лежащим на свинцовом крешере, как при определении бризантности (см. описание работы 22). В зависимости от свойств, применяемых ВВ, предусмотрено применение либо стандартных свинцовых столбиков (диаметр 40, высота 60 *мм*) и стальных дисков (диаметр 41 *мм*, толщина 10 *мм*), либо уменьшенных вдвое (диаметр столбика 20, высота 30 *мм*, диаметр диска 20,5, толщина 5 *мм*). Соответственно уменьшению вдвое всех линейных размеров, вес заряда должен быть уменьшен в $2^3=8$ раз. Нормальный заряд для уменьшенных столбиков 6,25 *г*.

Соответственно различаются и диаметры зарядов. Понятно, что заряды малого диаметра можно применять только в случае ВВ с высокой детонационной способностью. При отсутствии свинцовых столбиков опыты проводят, взрывая заряды на стальной пластине необходимой толщины или наборе сложенных тонких пластинок. Мерой местного действия в этом случае может служить либо наибольшая толщина пластин, еще пробиваемых взрывом, либо величина прогиба пластинок под действием взрыва. Конкретное описание опытов дано ниже для случая взрывов на свинцовых столбиках.

а) Изменение местного действия при увеличении длины заряда

Готовят из одного и того же ВВ несколько зарядов одинакового диаметра и одинаковой плотности, но различной высоты. В зависимости от диаметра имеющихся столбиков диаметр зарядов должен быть 40 или 20 *мм* соответственно. Относительные высоты различных зарядов должны быть в пределах от 0,5 до 4 диаметров. Если для опытов применяют насыпные заряды, то гильзы для них изготавливают и наполняют ВВ так же, как описано в работе 22. Прессованные заряды необходимой длины собирают в таких же гильзах из отдельных шашек.

Собирают заряд на свинцовом столбике так же, как при определении бризантности, и производят взрыв. В случае применения прессованных зарядов на свинцовый столбик кладут не 1, а 3 стальных диска.

Измеряют в четырех точках высоты столбика до и после опыта. Абсолютная разность средних высот и относительное (α) обжатие столбика служат показателями интенсивности местного действия.

По результатам опытов строят график зависимости обжатия столбика в миллиметрах или относительного обжатия α от относительной длины заряда. По графику находят предельную длину заряда, при дальнейшем увеличении которой импульс, действующий в направлении торца противоположного точке инициирования, больше не увеличивается.

б) Изменение местного действия при наличии оболочки вокруг заряда. Особенности местного действия подводного взрыва

Для опыта готовят несколько одинаковых по весу и размерам зарядов из одного и того же ВВ. Часть зарядов готовят в бумажных

гильзах, как описано выше в п. «а», а другую часть — в трубках соответствующего внутреннего диаметра с разной толщиной стенок из стекла, листового свинца, стали и других материалов. Вес зарядов в случае свинцового столбика диаметром 40 *мм* берут 50 *г* для аммонитов и тротила и 25 *г* для тэна или гексогена; диаметр зарядов

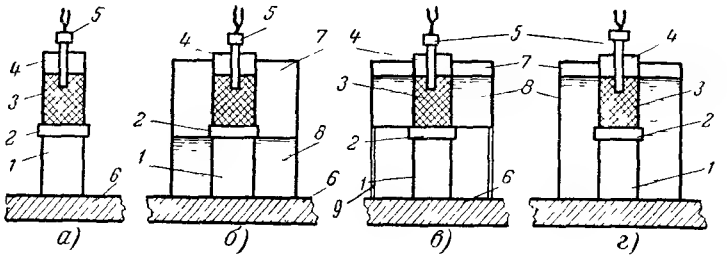

Рис. 60. Вариаиты сборки заряда на свинцовом столбике для опытов с оболочкой из воды:

1 — свинцовый столбик, *2* — стальной диск, *3* — ВВ, *4* — гильза; *5* — электродетонатор; *6* — стальная плита, *7* — сосуд; *8* — вода; *9* — опорное кольцо (картон)

должен составлять 40 *мм* в первом случае и 25—30 *мм* — во втором. В случае если применяют столбики диаметром 20 *мм*, то вес заряда должен составлять 6,25 *г*, а диаметр 18 *мм* при плотности до 1,2 *г/см*^{3} и 12—15 *мм* при плотности более 1,2 *г/см*^{3}.

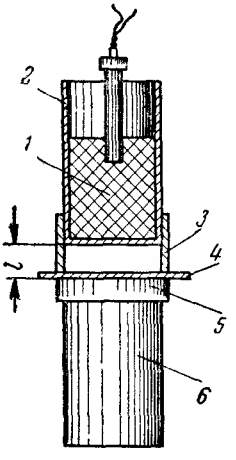

Рис. 61. Сборка зарядов на свинцовом столбике при различных расстояниях от заряда до стального диска (разрез):

1 — ВВ, *2* — гильза заряда, *3* — дистанционное колечко из бумаги в 2—3 оборота, *4* — картонный кружок; *5* — стальной диск, *6* — свинцовый столбик

Во всех случаях выбирают такие ВВ, чтобы диаметры применяемых зарядов были больше предельного диаметра (*Уч.* IV, *9*, 195). Заряды в различных оболочках устанавливают на стальной диск, лежащий на свинцовом столбике, и производят взрывы так же, как при определении бризантности (работа 22). Результаты, характеризующие зависимость обжатия столбика от сопротивления оболочки, представляют в виде таблицы.

Некоторым видоизменением рассмотренного варианта постановки опыта является взрыв зарядов, окруженных водой. Для опыта готовят четыре одинаковых заряда таких же размеров, как указано выше. Заряды готовят в парафинированных гильзах и собирают затем на свинцовых столбиках, в четырех вариантах, показанных на рис. 60 *а*, *б*, *в* и *г*. Поскольку емкость для воды в каждом опыте разрушается, целесообразно использовать в качестве сосудов стаканы, склеенные из плотной бумаги и покрытые изнутри тонким слоем парафина или какого-либо лака.

Различие в обжатии столбика при различных вариантах проведения опыта легко объяснить влиянием водяной оболочки, с одной стороны, на разлет продуктов взрыва и с другой — на деформацию крешера взрывом.

в) Измеиение местиого действия иа малых расстояииях от заряда

Готовят несколько одинаковых зарядов, размеры которых должны быть выбраны в зависимости от рода ВВ и размеров свинцовых столбиков, как указано в п. «б». Заряды монтируют на свинцовых столбиках, как показано на рис. 61, с различными расстояниями l от дна заряда до поверхности стального диска. (Примерные значения l в диаметрах заряда 0,00; 0,02; 0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6, 1,0.) В остальном опыты проводят так же, как при определении бризантности. По результатам опытов строят кривые Δh—l или α—l.

Работа 24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУГАСНОГО ДЕЙСТВИЯ (РАБОТОСПОСОБНОСТИ) ВВ ПО РАСШИРЕНИЮ КАНАЛА СВИНЦОВОЙ БОМБЫ (ПРОБА ТРАУЦЛЯ)

Сущность метода

Определение работоспособности производят, взрывая определенный заряд исследуемого ВВ в канале стандартной свинцовой бомбы. Увеличение объема полости служит мерой фугасного действия.

Согласно ГОСТ 4546—48, для испытания приняты заряды постоянного веса, равного 10 $\pm$0,01 *г*. Мерой работоспособности при этом считают разность объемов канала бомбы после и до взрыва. В данном практикуме принят метод испытания, заключающийся во взрывании зарядов постоянного объема, равного 10 *см*^{3}, и определении относительной работоспособности исследуемого ВВ путем нахождения эквивалентного заряда аммонита № 6, производящего такое же расширение бомбы, как исследуемый заряд (*Уч.* IX, *3*, 466).

Выполнение испытания

Для испытания применяют бомбы, отлитые из чистого свинца, имеющие размеры, показанные на рис. 62.

Опыт проводят следующим образом: измеряют объем (v_0) канала свинцовой бомбы, заполняя его водой из бюретки емкостью 100 *см*^{3}. Перед измерением нужно убедиться, что канал бомбы чист и размеры его соответствуют чертежу рис. 62. Глубину канала бомбы измеряют глубомером с точностью до 0,1 *мм*. После измерения объема канал освобождают от воды и протирают насухо фильтровальной бумагой.

Вес заряда для испытания определяют, исходя из рабочей плотности исследуемого ВВ (в случае промышленных ВВ практически

применяемая плотность патронов). Если рабочая плотность ВВ — ρ_0, то величина навески для испытания должна быть

$$q = 10{,}0\,\rho_0.$$

Соответствующую навеску всыпают в канал бомбы и уплотняют специальным пуансоном таким образом, чтобы расстояние от дна канала до верхнего среза ВВ составляло 21,5 *мм* (необходимую глубину погружения пуансона рассчитывают по измеренной ранее глу-

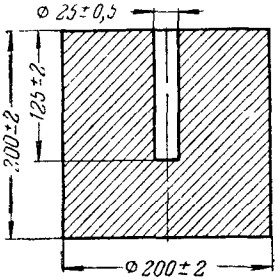

Рис. 62. Свинцовая бомба для определения работоспособности

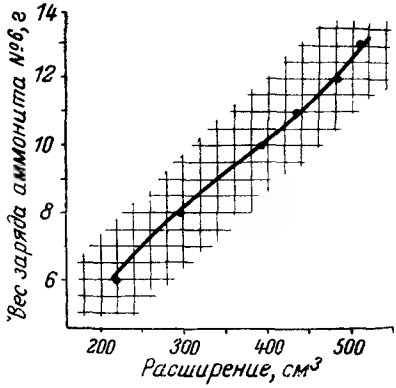

Рис. 63. Тарировочная кривая зависимости расширения свинцовой бомбы от веса заряда аммонита № 6

бине канала). Пуансон имеет выступ, образующий в заряде углубление под электродетонатор. Высота заряда рассчитана таким образом, что объем его за вычетом объема углубления для электродетонатора составляет 10 $см^3$. Поверх заряда вводят в канал картонный кружок диаметром 24 *мм* с центральным отверстием диаметром 7,5 *мм*, в которое перед взрывом вводят электродетонатор. После введения электродетонатора свободную часть канала засыпают сухим песком. Применяют фракцию песка, прошедшую через сито № 07 и оставшуюся на сите № 042 (ГОСТ 3584—53), причем заполняют канал до верхнего среза бомбы без уплотнения песка в канале. Подготовленный таким образом заряд взрывают.

После взрыва очищают полость, образовавшуюся в бомбе (волосяным ершом, продувкой) и измеряют ее объем (v_1), заполняя водой из мерного цилиндра. Результат опыта характеризуют расширением Δv_x, определяемым как

$$\Delta v_x = v_1 - v_0 \ см^3.$$

Проводят описанным образом два параллельных опыта и определяют среднее расширение $\Delta v_{x\text{ср}}$.

Далее в тех же условиях, в которых производилось определение расширения свинцовой бомбы исследуемым ВВ (одинаковая темпера-

тура, та же партия бомб и т. д.), находят эквивалентный заряд $C_{экв}$ аммонита № 6, производящий такое же расширение. Для предварительного подбора $C_{экв}$ служит график (рис. 63), на котором нанесена зависимость расширения бомбы от веса заряда аммонита № 6. По кривой находят приближенно вес заряда аммонита № 6, дающий такое же расширение, которое было получено в опытах с исследуемым ВВ. Затем проводят два опыта с найденной таким образом навеской аммонита № 6 по той же методике, которая была описана выше. Следует при этом обратить особое внимание на постоянство высоты зарядов (21,5 *мм*). По результатам опытов вычисляют среднее расширение $\Delta v_{э.ср}$. В связи с трудно контролируемыми отличиями в характеристиках свинца и других условий при построении тарировочной кривой в данных опытах полученное значение $\Delta v_{э.ср}$ может несколько отличаться от $\Delta v_{x\ ср}$. В этом случае наносят экспериментально найденное значение $\Delta v_{э\ ср.}$ на график и, проведя через эту точку прямую, параллельную ближайшему участку кривой, находят графически $C_{экв}$. (Это построение следует делать наложив лист кальки на рис. 63.)

Если вес заряда испытуемого ВВ, взятый для опытов, составлял C_x, то относительная работоспособность равна:

$$A_{отн} = \frac{C_{экв}}{C_x}.$$

Следует иметь в виду, что кривая рис. 63 построена по данным о расширении бомбы без учета влияния капсюля-детонатора. По опытным данным гремучертутнотетриловый капсюль-детонатор (электродетонатор) № 8 дает такое же расширение, как 1,1 *г* аммонита № 6. Эти данные позволяют в случае необходимости рассчитать $C_{экв}$ и $A_{отн}$ с учетом влияния капсюля.

Работа 25

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КУМУЛЯТИВНЫМ ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВА

Содержание работы

Кумулятивными называют заряды ВВ особого устройства, позволяющие при взрыве пробивать в прочной преграде (стальная броня, бетон, обсадные трубы глубоких скважин, горная порода и т. п.) отверстия большой глубины. Особенность устройства кумулятивных зарядов, определяющая достижение этого эффекта, состоит в том, что на торце заряда, противоположном тому, где находится детонатор, имеется выемка той или иной формы (конус, сферический сегмент и др.), ось которой совпадает с осью заряда. Продукты детонации, движущиеся под определенным углом к поверхности указанной выемки, образуют вдоль оси последней плотную струю, летящую с очень большой скоростью.

Кумулятивное действие значительно усиливается, если внутреннюю поверхность выемки в заряде облицевать металлом. Под действием

продуктов детонации элементы облицовки образуют в конечном счете струю металла, движущуюся с большой скоростью в направлении распространения детонации. Высокая плотность этой струи обеспечивает пробивание преград значительно (в 5—10 раз) большей толщины, чем при взрыве такого же заряда без облицовки.

Эффективность действия кумулятивного заряда зависит от расстояния между его торцом и пробиваемой преградой. Наибольшая глубина пробивания имеет место при определенном значении этого расстояния, которое называют «фокусным» расстоянием.

Собирание продуктов детонации и частиц металлической облицовки в плотную струю лучше всего происходит, если в кумулятивной полости имеется вакуум. Ввиду высокой скорости движения даже воздух несколько тормозит струю, а при заполнении полости более плотной средой кумулятивный эффект практически ликвидируется. Именно поэтому пробивное действие резко снижается, даже если полость заполнить взрывчатым веществом.

В зависимости от полученного задания работа может сводиться к одному из следующих вариантов:

1) сравнение действия на металлическую преграду взрыва зарядов ВВ с кумулятивной выемкой и без нее;

2) сравнение пробивного действия кумулятивного заряда с металлической облицовкой и без нее;

3) определение изменения пробивной способности в зависимости от расстояния между торцом и поверхностью пробиваемого материала;

4) определение пробивной способности при заполнении кумулятивной полости инертным или взрывчатым веществом.

Проведение опытов

а) Подготовка зарядов

Работу проводят с готовыми зарядами, либо готовят их специально для данных опытов. Наибольший кумулятивный эффект дают прессованные заряды мощных ВВ (например, флегматизированного тэна, гексогена, тетрила и т. п.) при максимальной плотности.

Прессование зарядов производится по специальной инструкции. При отсутствии прессованных зарядов и невозможности изготовить их готовят насыпные заряды в паяных жестяных стаканчиках диаметром 40 и высотой 65 *мм*. Берут один-два стаканчика с плоским дном и один-два стаканчика с конической выемкой. В каждый стаканчик засыпают 50 *г* ВВ (гексоген, тэн, тетрил). Засыпку ведут постепенно, небольшими порциями, с уплотнением каждой порции деревянным пуансоном. Предварительно с помощью воды или песка измеряют объем каждого стаканчика и делают на его стенке отметку, соответствующую уровню набивки ВВ при заданной плотности. Насыпку и уплотнение ВВ производят так, чтобы верхний срез заряда совпал с указанной выше отметкой. Поверх заряда в стаканчик кладут картонный

кружок с центральным отверстием диаметром 7 *мм* для электродетонатора. Электродетонатор вводят в заряд на глубину 5 *мм*.

При работе с прессованными зарядами перед опытом измеряют штангенциркулем основные размеры заряда, взвешивают его и определяют плотность. Вес, размеры и эскиз заряда должны быть зафиксированы в рабочем журнале. Если в заряде нет гнезда под электродетонатор, то готовят корковую пробку с отверстием диаметром 7,5 *мм*, которую соединяют с зарядом, как показано на рис. 64. Бумажное кольцо с пробкой приклеивают к заряду клеем БФ или шеллачным лаком.

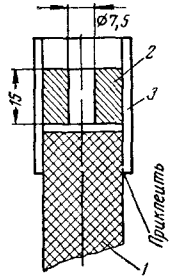

Рис. 64. Сборка плотных зарядов с пробкой для установки электродетонатора:
1 — заряд ВВ; *2* — корковая пробка; *3* — кольцо из бумаги в 3—4 оборота

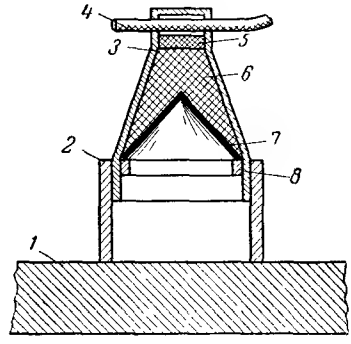

Рис. 65. Установка кумулятивного заряда на заданном расстоянии от преграды с помощью дистанционного кольца:
1 — стальная пластина; *2* — дистанционное кольцо (картон); *3* — оболочка заряда (пластмасса); *4* — детонирующий шнур; *5* — промежуточный детонатор; *6* — заряд; *7* — облицовка кумулятивной полости; *8* — кольцо, фиксирующее облицовку

Металлическую воронку (облицовку кумулятивной полости) после измерения и зарисовки эскиза устанавливают в полость заряда и проверяют плотность прилегания ее к ВВ. Необходимо иметь в виду, что прессованные заряды малых размеров с тонкостенными полостями непрочны и требуют особо аккуратного обращения. Металлическую облицовку закрепляют в кумулятивной полости с помощью клея БФ или шеллачно-канифольного лака (смазывать тонким слоем).

В случаях, когда требуется установить испытуемый кумулятивный заряд на определенном расстоянии от плиты, на которой будет произведен взрыв, изготавливают из картона дистанционное кольцо соответствующего размера. Устройство дистанционного кольца ясно из рис. 65[1].

[1] На рисунке показан опыт с зарядом, применяемым для пробивания труб в нефтяных скважинах. Возбуждают детонацию таких зарядов с помощью детонирующего шнура.

При опытах с заполнением кумулятивной полости в прессованном заряде порошкообразным взрывчатым или инертным веществом переворачивают заряд углублением вверх, насыпают соответствующий порошок, уплотняя его осторожным встряхиванием до уровня среза заряда. Избыток порошка удаляют линейкой и наклеивают бумажный кружок, закрывающий углубление. Взвешиванием заряда до и после насыпания порошка определяют вес насыпки.

б) Взрыв заряда

Взрывы кумулятивных и сравниваемых с ними сплошных зарядов производят на стальных пластинках толщиной 10—15 *мм*. Для насыпных зарядов берут 1 пластинку, для прессованных — 2—3, а для прессованных с металлической облицовкой — несколько пластин, уложенных одна на другую так, чтобы общая толщина металла была не менее 4 диаметров кумулятивной выемки. Заряд с электродетонатором устанавливают на стальные пластинки, уложенные строго горизонтально внутри бронекамеры. В зависимости от задания заряд устанавливают на пластину непосредственно или с помощью дистанционного кольца. При установке заряда необходимо обеспечить совпадение оси электродетонатора с осью заряда.

После взрыва осматривают пластины, измеряют диаметры входного и выходного отверстия в каждой из них и зарисовывают в рабочий журнал эскиз образовавшейся пробоины.

— · —

Глава VIII

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ВЗРЫВАНИЯ

Работа 26

ИСПЫТАНИЕ КАПСЮЛЕЙ-ДЕТОНАТОРОВ
(*Уч.* V *3*, 333—337)

Сущность метода

Наиболее важным видом испытания капсюлей-детонаторов является оценка их инициирующей способности. Для этой цели применяют две группы методов испытания: прямые и косвенные.

При прямых методах оценки инициирующей способности взрывают с помощью испытуемого капсюля-детонатора определенный заряд стандартного флегматизированного ВВ. Максимальное содержание флегматизатора, при котором еще происходит полный взрыв, принимают в качестве меры инициирующей способности капсюля-детонатора. Для таких испытаний применяют различные жидкие и твердые флегматизаторы. Практически удобным флегматизатором оказался предложенный Гайдом и Кененом тальк. Этот способ принят и в данном практикуме. При других вариантах прямого метода капсюль взрывают в контакте с зарядом, состав, диаметр и плотность которого выбраны так, что начавшаяся в нем детонация затухает. В этих случаях мерой инициирующей способности капсюля-детонатора (или промежуточного детонатора, которые испытывают аналогичным методом) служит длина детонировавшей части заряда.

При косвенных методах определяют каким-либо способом механическое действие взрыва капсюля-детонатора и по нему судят об инициирующем действии. Косвенные методы обычно проще в выполнении, но менее надежны. Если испытать два капсюля различного устройства, то соответствия в их оценке по механическому и инициирующему действиям обычно не наблюдается.

Прямые методы испытания инициирующей способности применяют в основном при разработке новой конструкции капсюля-детонатора, косвенные — для контроля качества текущей продукции; ослабление механического действия хорошо изученного капсюля-детонатора позволяет легко выявить недостатки в технологии его производства.

Выполнение испытания

а) Прямой метод испытания зарядами флегматизированного тротила

Для испытания применяют фракцию чистого, сухого кристаллического тротила, отобранную между ситами с размерами отверстий 0,5 и 0,15 *мм*. Тальк, предназначенный для флегматизации тротила, должен быть высушен и просеян через сито с 36 отверстиями на сантиметр. Из тротила и талька готовят несколько смесей с различным содержанием талька. В случае испытания капсюлей-детонаторов № 8 применяют смеси, содержащие 40, 50, 60 и 70% талька (по весу). Для других типов капсюлей составы смесей подбирают опытным путем.

Смешение производят вручную на листе глянцевой бумаги, постепенно прибавляя тальк к тротилу отдельными порциями и каждый раз тщательно перемешивая их. Можно также готовить смесь в лабораторной шаровой мельнице, куда сразу загружают необходимое количество тротила и талька, а вместо шаров помещают несколько резиновых пробок разных размеров.

Из тщательно перемешанного порошка прессованием готовят цилиндрические шашки диаметром 25±0,1 *мм*, высотой 42 ± 1,0 *мм*, с гнездом для капсюля-детонатора. Диаметр и глубину гнезда выбирают в зависимости от размеров и конструкции испытуемого капсюля так, чтобы он входил в гнездо без усилия и большого зазора и погружался на глубину, равную высоте заряда вторичного ВВ в капсюле. Для капсюлей-детонаторов № 8 гнездо должно иметь диаметр 7 *мм* и глубину 25 *мм*.

Шашки прессуют при давлении 1250 *кг/см*^{2}. Навески смеси тротила с тальком ориентировочно подбирают по таблице и уточняют опытным путем так, чтобы при давлении прессования 1250 *кг/см*^{2} высота получаемой шашки была в пределах 41—43 *мм*.

Таблица

Вес шашек из смеси тротила и талька

Содержание талька в смеси, %	Вес шашки, *г*
40	34
50	35
60	36
70	37
80	38

Обычно испытание ведут, сравнивая два типа капсюлей-детонаторов путем последовательных подрывов шашек с возрастающим содержанием талька. О полноте инициирования судят по механическому действию взрыва флегматизированной шашки, которую взрывают на свинцовой плите (толщина 30 *мм*, длина и ширина по 60 *мм*) или на свинцовом столбике (диаметром 20 *мм* со стальными дисками толщиной 10 *мм*). В первом случае показателем действия взрыва служит диаметр выбоины в свинцовой плите или уменьшение ее веса, во втором — уменьшение высоты свинцового цилиндрика. Результаты опытов наносят на график, где по оси абсцисс откладывают содержание талька, а по оси ординат — один из показателей механического действия взрыва. Резкое снижение ординаты кривой при увеличении содержания талька указывает на неполноту детонации флегматизи-

рованного заряда. Максимальное содержание талька, при котором диаметр выбоины в свинцовой плите уменьшается до 25 *мм*, или обжатие свинцового столбика становится таким же, как после взрыва данного капсюля с инертной шашкой, считают сравнительной мерой инициирующей способности испытуемых капсюлей-детонаторов.

б) Косвенный метод испытания по пробиванию свинцовой пластинки

Эффективность капсюля-детонатора оценивают по его способности пробить при взрыве свинцовую пластинку определенной толщины. Проба принята в качестве стандартной для текущего контроля заводского производства капсюлей.

Испытание выполняют следующим образом. На отрезок железной трубы диаметром 30—35 *мм* помещают квадратную (40×40 *мм*) или круглую диаметром 40—45 *мм* пластинку из чистого листового свинца. Толщина пластинки при испытании гремучертутнотетриловых капсюлей-детонаторов № 8 должна быть 5 *мм*, при испытании азидо-тетриловых капсюлей-детонаторов № 8 —6 *мм*. Трубку с пластинкой устанавливают в защитном приспособлении и в центре пластинки строго вертикально закрепляют испытуемый капсюль-детонатор, взрываемый при помощи огнепроводного шнура, или электродетонатор (см. рис. 66).

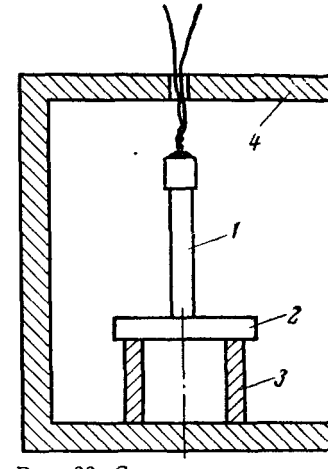

Рис. 66. Схема испытания капсюля-детонатора на свинцовой пластинке:
1 — электродетонатор; *2* — свинцовая пластинка; *3* — кольцевая подставка; *4* — защитное приспособление

Капсюль-детонатор считается выдержавшим испытание, если он пробивает в пластинке сквозное круглое отверстие, диаметр которого больше диаметра гильзы капсюля. В случае капсюлей в металлической гильзе дополнительным показателем эффективности является также характер следов, оставляемых осколками оболочки на поверхности свинцовой пластинки; следы в виде большого числа тонких лучей указывают на то, что гильза была раздроблена на мелкие кусочки, и, следовательно, на большую бризантность взрыва заряда капсюля-детонатора. Напротив, наличие немногих следов в виде относительно больших выбоин говорит о дроблении оболочки на крупные куски, т. е. о низкой бризантности взрыва заряда капсюля-детонатора.

Кроме диаметра пробитого отверстия и характера следов на пластинке, оценка действия капсюля-детонатора может быть произведена также по потере в весе свинцовой пластинки, для чего ее взвешивают с точностью до 0,1 *г* перед опытом и после него.

Меры предосторожности

1. Обжимать гильзу капсюля-детонатора на огнепроводном шнуре можно только в специальном приспособлении.

2. Взрыв отдельного капсюля-детонатора (электродетонатора) можно производить в рабочем помещении, если капсюль помещен в специальный защитный кожух; взрыв шашки тротила только в бронекамере (бронеяме).

3. Прессование шашек флегматизированного тротила и взрывы производят по специальным инструкциям.

4. Систематические опыты с гремучертутными капсюлями можно вести только в помещении с интенсивной вентиляцией (местный отсос возле приспособления, где взрывают капсюли) или на открытом воздухе. Содержание ртути в атмосфере помещения следует контролировать не реже, чем один раз в месяц.

Работа 27

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ

Содержание работы

Временем срабатывания называют интервал от момента включения тока в цепь мостика накаливания до момента детонации вторичного заряда электродетонатора. Оно является весьма важной характеристикой не только электродетонаторов замедленного, но и так называемого мгновенного действия.

Время срабатывания определяют с помощью электротехнических измерительных схем. Начальным моментом отсчета является включение тока в цепь мостика накаливания. Для фиксирования момента взрыва гильзу электродетонатора обычно обматывают проводником, включенным, так же как мостик накаливания, в специальную электрическую схему. При взрыве проводник разрушается и ток в соответствующей цепи прерывается.

Известны различные приборы, позволяющие измерить время от момента замыкания одной электрической цепи до момента размыкания этой же или другой цепи: электронные миллисекундомеры разных типов, катодные и шлейфовые осциллографы, баллистические гальванометры и др. В данном практикуме принята схема, основанная на применении наиболее распространенного шлейфового осциллографа МПО-2. Широкий диапазон возможных скоростей записи на этом приборе позволяет пользоваться одной и той же аппаратурой для испытания электродетонаторов мгновенного и замедленного действия.

Выполнение испытания

Электрическая аппаратура для испытания состоит из осциллографа, генератора звуковой частоты и специального пульта. Схема пульта, а также блок-схема соединения всех приборов показаны на рис. 67.

Работу выполняют следующим образом. Гильзу испытуемого электродетонатора плотно обвязывают тонким изолированным проводником. Электродетонатор помещают в стальной защитный стакан, который закрывают крышкой. Проводники от мостика накаливания присоединяют к клеммам *3*, а концы провода, охватывающего гильзу,— к клеммам *14*. Защитный стакан должен быть отделен от пульта щитом или находиться в другом помещении за стеной.

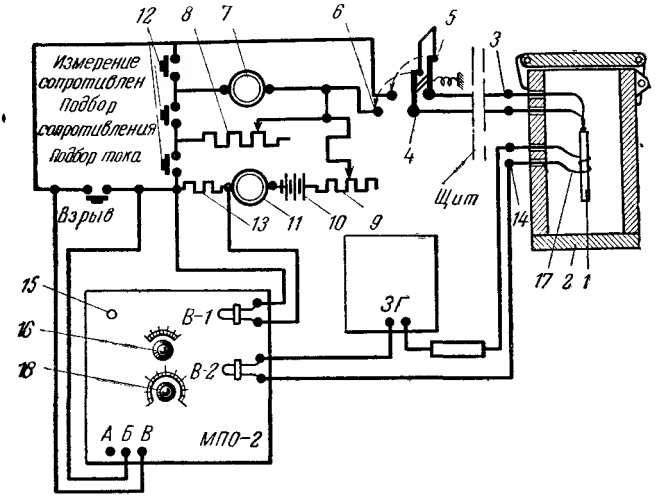

Рис. 67. Схема определения времени срабатывания электродетонаторов:

1 — электродетонатор; *2* — защитный стакан; *3* — клеммы цепи электровоспламенителя; *4* — переключатель с возвратной пружиной; *5* — короткозамкнутые контакты переключателя; *6* — рабочие контакты переключателя; *7* — омметр; *8* — реостат подбора сопротивления; *9* — реостат подбора силы тока; *10* — батарея аккумуляторов; *11* — амперметр; *12* — кнопки с возвратными пружинами; *13* — шунт; *14* — клеммы цепи момента взрыва; *15* — кнопка «съемка»; *16* — регулятор опережения включения механизма протяжки; *17* — проводник, разрывающийся при взрыве; *18* — регулировка длины кадра

На пульте имеется двухполюсный переключатель *4*, снабженный сильной пружиной, постоянно удерживающей его в положении, когда проводники электродетонатора оказываются подключенными к замкнутым накоротко клеммам *5*.

Вначале измеряют сопротивление мостика накаливания, для того чтобы подобрать необходимую силу тока при основном испытании. Для этого, переводя переключатель в положение, когда электродетонатор соединен с клеммами *6* и удерживая переключатель рукой в этом положении, нажимают кнопку *12* с надписью «измерение сопротивления». По шкале омметра *7* определяют сопротивление испытуемого детонатора и отпускают кнопку и переключатель. Далее, нажатием кнопки с надписью «подбор сопротивления» соединяют омметр *7* с реостатом *8* и, передвигая движок реостата, подбирают его сопротивление так, чтобы оно было в точности равно сопротивлению мостика

электродетонатора. Отпускают кнопку — «подбор сопротивления», нажимают соседнюю с надписью «подбор тока» и, передвигая рукоятку реостата 9, устанавливают по амперметру *11* силу тока, который должен в дальнейшем протекать в мостике накаливания электродетонатора.

Время срабатывания электродетонаторов типа ЭД-8-56, ЭД-КЗ и ЭД-ЗД обычно определяют при силе постоянного тока, равной 1 амперу. При испытании других типов электродетонаторов применяют силу тока, указанную в соответствующих технических условиях или ГОСТах. В этом случае нужно заменить установленный в схеме шунт (*14* на рис. 67)[1].

Включают питание звукового генератора и выжидают 3—5 *мин*, пока он прогреется, после чего устанавливают нужную частоту переключателем диапазонов и лимбом настройки, имеющимся на панели генератора. (Подробнее о порядке работы с генератором см. в заводской инструкции.) Выбор частоты, дающей на осциллограмме масштаб времени, зависит от величины измеряемого времени срабатывания; рекомендации по выбору частоты, задаваемой звуковым генератором, приведены ниже в таблице.

Осциллограф МПО-2 подготавливают к опыту, руководствуясь описанием, приведенным в работе 7 (см. стр. 47), и заводской инструкцией. При выполнении данной работы для включения тока, вызывающего взрыв электродетонатора, используется имеющаяся в осциллографе система автоматики. Провода, присоединенные параллельно к кнопке с надписью «взрыв», подключаются с этой целью к зажимам «Б» и «В» на панели осциллографа. Через некоторое время после включения механизма протягивания пленки реле, имеющееся в осциллографе, замыкает контакты; таким образом исключаются неточности, связанные с инерцией механизма протяжки пленки. Величину задержки от момента включения механизма протягивания до момента замыкания взрывной цепи можно регулировать поворотом рукоятки *16* на панели осциллографа. Шкала регулятора градуирована в метрах пленки, т. е. контакты «Б» и «В» замыкаются после протягивания, установленного на шкале регулятора *16*, отрезка пленки. Рекомендуемые для разных времен срабатывания установки регулятора *16*, а также скорости записи и длины кадра приведены в таблице.

По окончании подготовки всей схемы при включенном вибраторе В-1 нажимают кнопку *12* с надписью «подбор тока» и по экрану осциллографа наблюдают положение луча и величину отклонения, регулируя их в случае необходимости либо поворотом вибратора, либо подбором шунта или дополнительного сопротивления, включаемого последовательно с вибратором. После этого аналогичным образом регу-

[1] Шунт подбирают таким образом, чтобы при заданной силе воспламеняющего тока через вибратор В-1 проходил ток не больше допустимого, но достаточный для получения четкого отклонения линии тока на осциллограмме. Величины допустимых токов для каждого типа вибраторов указаны в заводской инструкции к осциллографу.

лируют положение луча вибратора и амплитуду тока звукового генератора.

После повторной тщательной проверки всей схемы производят измерение. Для этого переводят переключатель *4* в положение, когда он соединен с клеммами *6*, и, удерживая его в этом положении, нажимают кнопку с надписью «съемка» на панели осциллографа. Включение протяжки пленки, замыкание взрывной цепи и выключение мотора осциллографа происходят автоматически. Отрезок пленки с записью вынимают из кассеты, проявляют и фиксируют. Время срабатывания определяют, измеряя осциллограмму с помощью увеличителя или по увеличенному отпечатку.

Таблица

Рекомендуемые режимы съемки для определения времени срабатывания электродетонаторов разных типов (осциллограф МПО-2)

Тип электродетонатора	Скорость пленки, *м/сек*	Частота звукового генератора, *гц*	Длина кадра, *м*	Положение регулятора «контакты» (*16* по схеме рис. 67)
Мгновенного действия .	5,0	5000	0,2	0,1
Короткозамедленного действия до 70 *мсек*	2,0	1000	0,3	0,1
То же, до 200 *мсек* .	1,0	1000	0,4	0,1
Замедленного действия, до 2 *сек*	0,2	200	0,5	0,0
То же, до 10 *сек* . .	0,02	50[1]	0,3	0,0

Меры предосторожности

1. При обращении с электродетонаторами и проведении взрывов соблюдают требования общей и специальной инструкций по технике безопасности.

2. До начала работы нужно тщательно проверить все элементы испытательного пульта. Особое внимание обращать на надежность действия возвратных пружин всех кнопок пульта и двухполюсного переключателя.

3. Следует помнить, что при взрыве гремучертутных электродетонаторов диспергируется значительное количество металлической ртути. Необходимо интенсивно вентилировать помещение, где происходит взрыв электродетонаторов, устанавливая местные отсосы вытяжной вентиляции возле каждого защитного стакана. Периодически необходимо проверять содержание паров ртути в атмосфере

[1] При такой скорости съемки вместо звукового генератора можно включать проволочку 17 через сопротивление (25—30 *ком*, 2—3 *вт*) в сеть переменного тока.

лаборатории. Этих трудностей можно избежать, применяя для работы в помещении только азидные электродетонаторы.

4. Если место, где происходит взрыв электродетонаторов, находится вблизи от помещения, в котором установлен пульт, следует предупреждать всех работающих в помещении, перед тем как нажимать кнопку «взрыв».

— . —

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Введение 4

Глава I

Медленное химическое превращение, химическая и физическая стойкость взрывчатых веществ 9
Работа 1. Исследование термического разложения ВВ в приборе со стеклянным манометром типа Бурдона 9
Работа 2. Оценка химической стойкости нитроэфиров по йодокрахмальной пробе (проба Абеля). 17
Работа 3. Оценка химической стойкости нитроцеллюлозы и порохов по простой лакмусовой пробе (проба Вьеля) 20
Работа 4. Оценка слеживаемости аммиачно-селитренных ВВ 22

Глава II

Горение взрывчатых веществ 25
Работа 5. Определение способности ВВ к горению (определение критического диаметра горения) 25
Работа 6. Исследование горения ВВ при постоянном давлении 30
Работа 7. Исследование горения ВВ и порохов в манометрической бомбе 41
Работа 8. Исследование горения ВВ под возрастающим давлением в трубках с мембраной. 51

Глава III

Детонация взрывчатых веществ 56
Работа 9. Определение критического диаметра детонации ВВ 56
Работа 10. Определение скорости детонации методом Дотриша 60
Работа 11. Определение скорости детонации с помощью фоторегистра с зеркальной разверткой — СФР. 63
Работа 12. Определение скорости детонации методом ионизационных датчиков (осциллографическим методом) 72
Работа 13. Исследование передачи детонации на расстояние 83

Глава IV

Начальный импульс и чувствительность взрывчатых веществ 89
Работа 14. Определение чувствительности ВВ к удару . . 89
Работа 15. Оценка чувствительности ВВ к трению растиранием в ступке 94
Работа 16. Определение чувствительности ВВ к трению (скользящему удару) на копре К-44-III 95
Работа 17. Определение температуры, задержки и интенсивности вспышки 98
Работа 18. Определение воспламеняемости ВВ 103
Работа 19. Оценка чувствительности ВВ к взрывному импульсу (определение предельного заряда инициатора) 106

Глава V

Состав и объем продуктов взрыва 110
Работа 20. Определение объема и состава газообразных продуктов взрыва промышленных ВВ 110

Глава VI

Теплота взрывчатого превращения 114
Работа 21. Определение теплоты горения порохов и ВВ 114

Глава VII

Разрушающее действие взрыва 122
Работа 22. Оценка бризантного действия взрыва по обжатию свинцовых цилиндриков (проба Гесса) 122
Работа 23. Ознакомление с некоторыми закономерностями местного действия взрыва 124
Работа 24. Определение фугасного действия (работоспособности) ВВ по расширению канала свинцовой бомбы (проба Трауцля) 127
Работа 25. Ознакомление с кумулятивным действием взрыва 129

Глава VIII

Испытание средств взрывания 133
Работа 26. Испытание капсюлей-детонаторов 133
Работа 27. Определение времени срабатывания электродетонаторов 136

— · —

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр	Строка	Напечатано	Должно быть
28	15 снизу	7	6
29	1 сверху	6	5
32	5 снизу	ожигать	сжигать
33	на рис 12	столик для крепления образца на верхней проекции вместо цифры 6 обозначен	цифрой 8
34	14 снизу	маномер	манометр
49	22 сверху	в начале	вначале
54	на рис. 28	Врыв	Взрыв
57	17 снизу	конусы	конуса
77	3 снизу	Провода от точек 0 и 0_1	Провода к клеммам пуск и вход
83	15 снизу	частность	частость
90	подпись к рис. 47	К-44-П	К-44-11
98	3 сверху	рукоятке	рукоятку
121	8 сверху	машалки	мешалки

Зак 236

Глава IV

Начальный импульс и чувствительность взрывчатых веществ 89
Работа 14. Определение чувствительности ВВ к удару . . 89
Работа 15. Оценка чувствительности ВВ к трению растиранием в ступке. 94
Работа 16. Определение чувствительности ВВ к трению (скользящему удару) на копре К-44-III 95
Работа 17. Определение температуры, задержки и интенсивности вспышки. 98
Работа 18. Определение воспламеняемости ВВ 103
Работа 19. Оценка чувствительности ВВ к взрывиому импульсу (определение предельного заряда инициатора) 106

Глава V

Состав и с 110
Работа
дуктов взрыва

Теплота в
Работа

Разрушаю
Работа
свинцовых ци
Работа
местного дейс
Работа
ности) ВВ по
Работа
взрыва . . . .

Испытани
Работа
Работа
тонаторов .

А. И. Гольбиндер

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ ТЕОРИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Редактор *Б. Н. Кондриков*
Техн. редактор *В. А. Зорина*

Корректор *М. Н. Мелейникова*

Сдано в набор 20/II-63 г.
Индекс УТ-111. Подп. к печати 18/X-63 г. Формат 60×90¹/₁₆.
Объем 9 печ. л. Уч.-изд. л. 8,99.
Л.-70803. Заказ 236. Тираж 4 100 экз. Цена 32 коп.

Госвузиздат, Москва, Б. Вузовский пер, 3/12.

Полиграфкомбинат
Верхне-Волжского совнархоза
г. Ярославль, ул. Свободы, 97.